napędy i sterowanie

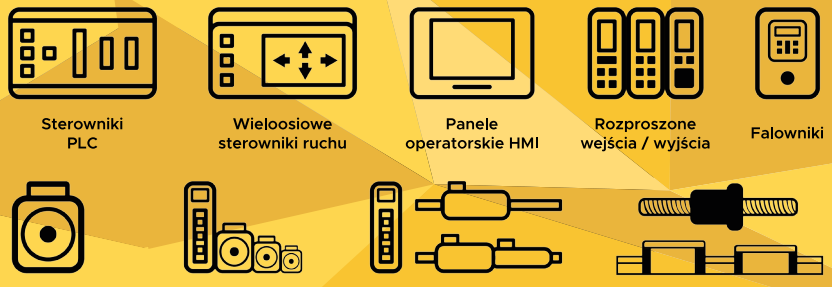
miesięcznik naukowo-techniczny

Nr 5 (241)
Rok XXI
Maj 2019
ISSN 1507-7764
Indeks 36018X
Cena: 10,80 zł
(w tym 8% VAT)

napędy ● automatyka przemysłowa ● energoelektronika ● aparatura kontrolno-pomiarowa ● mechatronika ● systemy zasilające
układy zabezpieczeń ● hydraulika ● pneumatyka ● robotyka ● systemy transportowe ● utrzymanie ruchu

www.multiprojekt.pl
MultiProjekt®

www.multiprojekt.pl
info@multiprojekt.pl



Tematyka – 2019 rok

redakcja.nis@drukart.pl • tel. 32 755 19 17 • www.nis.com.pl

napędy i sterowanie
miesięcznik naukowo-techniczny

Numer, miesiąc wydania	Temat przewodni numeru	Uzupełnienie tematyki
1 (237) Styczeń	**PRZEMYSŁ 4.0 TECHNOLOGIE 3D**	• Efektywność w górnictwie • Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne • Systemy mechatroniczne • Monitoring i systemy sterowania • Utrzymanie ruchu • Automatyzacja transportu szynowego • Efektywność w energetyce • Napędy • Oleje, środki smarne
2 (238) Luty	**AUTOMATYZACJA PRODUKCJI EFEKTYWNOŚĆ W ENERGETYCE**	• Bezpieczeństwo sieci przemysłowych • Technika przemieszczeń liniowych i montażu • Hydraulika siłowa
3 (239) Marzec	**AUTOMATYKA I ROBOTYKA**	• Nowe technologie • Roboty przemysłowe • Termowizja • Aparatura kontrolno-pomiarowa • Systemy mechatroniczne
4 (240) Kwiecień	**BEZPIECZEŃSTWO W PRZEMYŚLE**	• Hydraulika w technice mobilnej • Sterowanie procesami • Efektywność energetyczna • Systemy transportowe • Wytwarzanie energii ze źródeł konwencjonalnych i odnawialnych • Maszyny i urządzenia dla wodociągów i kanalizacji • Przesył energii • Cyberbezpieczeństwo
5 (241) Maj	**TERMOWIZJA, MONITORING, POMIARY**	• Maszyny i napędy elektryczne • Technologie przyrostowe 3D • Napędy hybrydowe • Diagnostyka i kontrola urządzeń • Przemysłowy Internet Rzeczy (IIoT – Industrial Internet of Things)
6 (242) Czerwiec	**PRZEMYSŁ MASZYNOWY, INNOWACJE PRZEMYSŁ 4.0**	• Termowizja, monitoring, układy regulacji • Inteligentny budynek • Robotyka • Oprogramowanie, sieci przemysłowe • Systemy informatyczne
7/8 (243/244) Lipiec/sierpień	**SYSTEMY AUTOMATYZACJI W GÓRNICTWIE AUTOMATYZACJA TRANSPORTU SZYNOWEGO**	• Inteligentne układy zasilania, sterowania • Diagnostyka • Nowe technologie • Silniki elektryczne • Transformatory
9 (245) Wrzesień	**AUTOMATYKA W ENERGETYCE AUTOMATYKA W PRZEMYŚLE SPOŻYWCZYM**	• Efektywność w energetyce • Automatyka w przemyśle maszynowym • Układy regulacji automatycznej • Systemy transportowe • Maszyny i napędy elektryczne • Komponenty do produkcji oraz systemy dla przemysłu
10 (246) Październik	**HYDRAULIKA, PNEUMATYKA I STEROWANIE**	• Diagnostyka • Inteligentne układy zasilania • Systemy mechatroniczne • Bezpieczeństwo w przemyśle • Napędy hybrydowe i elektryczne • Oleje, środki smarne
11 (247) Listopad	**AUTOMATYZACJA PRODUKCJI**	• Maszyny i napędy elektryczne • Oprogramowanie, sieci przemysłowe • Technika przemieszczeń liniowych i montażu • Roboty przemysłowe • Sterowniki PLC i systemy sterowania • Systemy transportowe • Innowacje wod.-kan.
12 (248) Grudzień	**PRZEMYSŁ 4.0 BEZPIECZEŃSTWO W PRZEMYŚLE**	• Systemy mechatroniczne • Napędy elektryczne i hydrauliczne • Inteligentny budynek • Cyberbezpieczeństwo

napędy i sterowanie miesięcznik naukowo-techniczny

Adres redakcji:
47-400 Racibórz
ul. Środkowa 5
tel./fax 32 755 19 17
e-mail: redakcja.nis@drukart.pl; www.nis.com.pl

Redaktor naczelna: Katarzyna Zając
tel. 32 755 19 17 • e-mail: redakcja.nis@drukart.pl

Redaguje Zespół: Katarzyna Zając, Ludmiła Urbińska, Monika Gomółka, Ryszard Klencz

Redaktor statystyczny: Ludmiła Urbińska
tel./fax 32 755 23 23 • e-mail: nis@drukart.pl

Redakcja techniczna: Grzegorz Drobny
tel. 32 755 23 18 • e-mail: redakcja.tech@drukart.pl

Marketing:
Estera Krauze
tel./fax 32 755 18 23 • e-mail: marketing@drukart.pl
Agnieszka Gutowska
tel./fax 32 755 24 55 • e-mail: marketing7@drukart.pl

Dział prenumerat: Norbert Klencz
tel./fax 32 755 15 74 • e-mail: prenumerata@drukart.pl

Podstawowa korekta tekstu: Marta Chamów

Rada Programowa:
• prof. zw. dr hab. inż. Wacław Kollek – przewodniczący
• prof. nadzw. dr hab. inż. Andrzej Balawender
• prof. Marek Bergander
• prof. zw. dr hab. inż. Witold Byrski
• dr inż. Rafał Hein
• prof. Ing. Jaroslav Homišin
• dr inż. Ryszard Jasiński
• prof. zw. dr hab. inż. Marek Jaszczuk
• prof. zw. dr hab. inż. Antoni Kalukiewicz
• dr inż. Grzegorz Karoń
• prof. zw. dr hab. inż. Marian Piotr Kaźmierkowski
• prof. zw. dr hab. inż. Adam Klich
• dr hab. inż. Roman Krok
• prof. zw. dr hab. inż. Igor Piotr Kurytnik
• Ph. D. Ing. Jacek Paraszczak
• prof. zw. dr hab. inż. Zbigniew Pawelski
• dr hab. inż. Krzysztof Pietrusewicz
• prof. zw. dr hab. inż. Stanisław Pirog
• prof. Jacek S. Stecki
• dr hab. inż. Michał Stosiak
• dr inż. Zbigniew Szulc
• prof. zw. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz
• prof. zw. dr hab. inż. Edward Tomasiak
• dr inż. Grzegorz Wiciak

Redaktor tematyczny: prof. zw. dr hab. inż. Wacław Kollek

Wydawca: Wydawnictwo Druk-Art SC
47-400 Racibórz, ul. Środkowa 5

Patronat honorowy:

Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej

Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej

Instytut Pojazdów, Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Łódzkiej

Punktacja MNiSW za publikacje naukowe wynosi 5 pkt (poz. 1652). Przyłączając się do realizacji idei Otwartej Nauki, udostępniamy bezpłatnie powierzchnię na artykuły naukowe publikowane w miesięczniku naukowo-technicznym „Napędy i Sterowanie".

Redakcja nie odpowiada za treść ogłoszeń i nie zwraca materiałów niezamówionych. Zastrzegamy sobie prawo skracania i adiustacji tekstów.
Przedrukowywanie materiałów lub ich części tylko za zgodą pisemną redakcji.

Redakcja deklaruje, że pierwotną wersją wydawanego miesięcznika „Napędy i Sterowanie" jest wersja drukowana (papierowa).

„Wydarzenia" wybrano z materiałów prasowych firm.

Szanowni Państwo!

Nauka nierozerwalnie związana jest z przemysłem, a przemysł bez nauki funkcjonować nie może. Stwierdzenie to, choć oczywiste, nabiera nowego znaczenia, albowiem po okresie zastoju, kiedy – przez pewien czas – obie dziedziny kroczyły własnymi ścieżkami, dziś znów ich drogi się schodzą. Obecnie uczelnie równie chętnie, jak przed laty, przystają na współpracę z przedsiębiorcami, natomiast oni mogą sięgać po młodą kadrę, nierzadko obeznaną już z urządzeniami i rozwiązaniami oferowanymi przez firmy.

Pomimo poprawy sytuacji do ideału współpracy naukowców z biznesem jest w Polsce jeszcze bardzo daleko. Na rynku brakuje osób, które rozumieją potrzeby obu stron.

Z punktu widzenia przemysłu istotne jest nastawienie się na realizację wyznaczonego celu, szybki czas dostarczenia produktu najwyższej jakości, zyskowność oraz efektywne zarządzanie kosztami. Uczelnia natomiast w pierwszej kolejności zawsze będzie stawiać na priorytety naukowe, rozwój kadry naukowo-dydaktycznej, budowanie świadomości i kształtowanie postaw. Przy takim układzie potrzeba wyspecjalizowanych kadr, zarówno po stronie biznesu, jak i uczelni, które, rozumiejąc te cele, będą zdolne wyszukiwać wspólne punkty i łączyć je ze sobą. Dla przypomnienia: w 2018 r. weszła w życie tzw. duża ustawa o innowacyjności, wprowadzająca m.in. zwiększone ulgi podatkowe na działalność B+R i szerszy katalog kosztów kwalifikowanych, zarówno dla przedsiębiorców, jak i centrów badawczo-rozwojowych. Ponadto Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego postawiło na promocję tzw. doktoratów wdrożeniowych, realizowanych jednocześnie pod opieką promotora w jednostce naukowej i przedstawiciela biznesu.

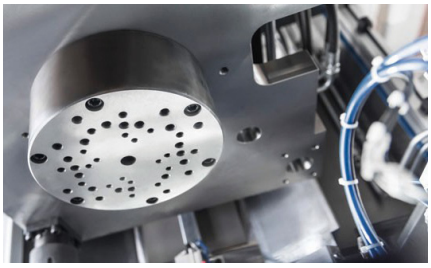
O tym, jak jest niezbędna ta symbioza, mogą przekonać się Państwo również na łamach naszego pisma. Prezentujemy w nim nowości techniczne pojawiające się na polskim rynku oraz firmy, które napędzają rozwój naszego przemysłu, stale wzbogacając Państwa wiedzę o aktualne i ważne badania prowadzone przez naukowców uczelni technicznych.

W aktualnym numerze doświadczeniami w stosowaniu pomiaru wyładowań niezupełnych maszyn elektrycznych podzielili się prof. Sławomir Szymaniec i dr inż. Piotr Paduch. Zaprezentowania możliwości modelu dynamicznego silnika indukcyjnego klatkowego podjął się natomiast prof. Tadeusz Glinka.

Nowoczesny Design dla wytwarzania przyrostowego oraz zastosowania przemysłowe druku 3D stały się zaś przedmiotem rozważań prof. dr hab. Heleny Dodziuk. W swej publikacji *Druk 3D/AM* podkreśla szerokość ujęcia uwzględniającego bardzo różnorodne zastosowania druku 3D, nie tylko w przemyśle i medycynie, lecz również w edukacji, sztuce i ekologii. O tym jednak w szczegółach przeczytać mogą Państwo w samym artykule.

Zachęcam do lektury
Katarzyna Zając
Redaktor naczelna

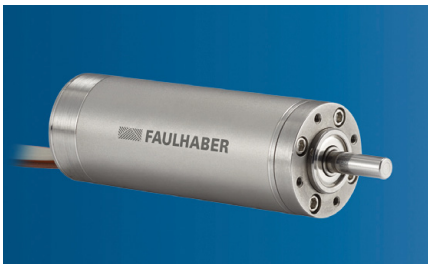
Str. 10
Czym są sterowniki ruchu i jaką dają nam przewagę nad zwykłym PLC?



Str. 16
Prasy zaklejające firmy Frey dotłaczają elementy spiekane

Str. 18
Perfekcyjnie zintegrowane

Str. 23
MICREX-SX – seria sterowników PLC firmy Fuji Electric



Str. 26
Krótki serwomotor BLDC o średnicy 16 mm. Kompaktowa siła napędowa dla wymagających zastosowań

CO W NUMERZE

6 **Nowości techniczne**

100 **Biblioteka**

Nauka

48 **Detekcja asymetrii szczeliny powietrznej w generatorze ze wzbudzeniem od magnesów trwałych, bazująca na analizie częstotliwościowej prądu** – M. Barański

53 **Zastosowanie algorytmu identyfikacji rezystancji wirnika do diagnostyki silnika indukcyjnego w czasie rzeczywistym** – S. Bednarz, M. Dybkowski

58 **Aparaturowe aspekty pomiaru wyładowań niezupełnych maszyn elektrycznych. Część 1** – P. Paduch, S. Szymaniec

64 **Analiza pracy silnika zabudowanego w piaście koła samochodu osobowego dla wybranych parametrów jazdy** – P. Dukalski, T. Wolnik, B. Będkowski, T. Jarek, A. Urbaś, K. Augustynek

69 **Osiowe elektryczno-mechaniczne zespoły napędowe do pojazdów** – J. Dzida

74 **Model dynamiczny silnika indukcyjnego klatkowego** – T. Glinka

80 **Drukowanie w 3D i jego unikalne zalety** – H. Dodziuk

85 **Design dla wytwarzania przyrostowego** – H. Dodziuk

88 **Zastosowania przemysłowe druku 3D zwanego wytwarzaniem przyrostowym. Wstęp** – H. Dodziuk

Technologie i produkty

9 **Prawidłowe zasilanie magistrali KNX** – Elmark Automatyka Sp. z o.o.

10 TEMAT Z OKŁADKI: **Czym są sterowniki ruchu i jaką dają nam przewagę nad zwykłym PLC?** – MULTIPROJEKT

12 TEMAT Z OKŁADKI: **Sprawdzone rozwiązania w nowej odsłonie – serwonapędy Estun** – MULTIPROJEKT

14 **Cyfrowa transformacja techniki przemieszczeń liniowych** – U. Lehmann – Bosch Rexroth Sp. z o.o.

16 **Prasy zaklejające firmy Frey dotłaczają elementy spiekane** – Bosch Rexroth Sp. z o.o.

18 TEMAT Z OKŁADKI: **Perfekcyjnie zintegrowane** – FESTO Sp. z o.o.

20 **Grupa Cantoni na Targach Hannover Messe 2019** – CANTONI MOTOR SA

23 **MICREX-SX – seria sterowników PLC firmy Fuji Electric** – AMTEK

24 **Firma Emerson zwiększa funkcjonalność zaworów proporcjonalnych dzięki interfejsowi do komunikacji cyfrowej na potrzeby integracji z rozwiązaniami zgodnymi z koncepcją Przemysłu 4.0 oraz IIoT** – Emerson Automation Solutions, ASCO Numatics Sp. z o.o.

26 **Krótki serwomotor BLDC o średnicy 16 mm. Kompaktowa siła napędowa dla wymagających zastosowań** – FAULHABER Polska Sp. z o.o.

27 **Miernik programowalny z bargrafem – LIN-260** – SEM

28 **Testowany przewód chainflex dla kątów skrętu do 360 stopni bezpiecznie przesyła dane do 6-osiowych robotów. Przewód Ethernet 3D firmy igus umożliwia szybką komunikację z robotem** – igus Sp. z o.o.

30 **NORDAC BASE: Solidna przetwornica częstotliwości do inżynierii procesowej** – NORD Napędy Sp. z o.o.

33 **NOWIMEX SC – dystrybutor systemów zasilania urządzeń ruchomych oraz elementów automatyki i systemów sterowania** – NOWIMEX SC

35 **Wielofunkcyjna kamera z termowizją i certyfikatem Ex. CUBE 800** – PEPPERL+FUCHS Sp. z o.o.

35 **Enkodery. Ethernet IP** – Kubler Poland

36 **Konektory M12 dla przemysłowych instalacji Ethernet. Pełna prędkość transmisji danych** – Murrelektronik Sp. z o.o.

36 **Wydajne instalacje sieciowe** – Murrelektronik Sp. z o.o.

38 **Zdalny dostęp – idealne rozwiązanie dla producentów maszyn** – RAControls Sp. z o.o.

40 **Falownik Hitachi serii SJ, typ P1 – wybrane funkcje** – ZELTECH MECHATRONIKA Sp. z o.o.

42 **Cyfrowa inwentaryzacja przyszłością utrzymania ruchu** – Lenze Polska Sp. z o.o.

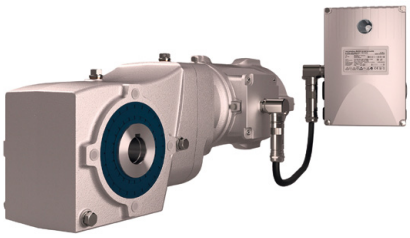
45 **Przemiennik częstotliwości SXS1000 firmy SANYU sterujący pompą basenową** – TERM Tomasz Sobczak

Informacje branżowe

22 **Targi Transportu Publicznego Silesia KOMUNIKACJA oraz Targi Transportu i Spedycji TRANSPORTEX za nami!**

32 **RELACJA Z III KONGRESU ARMATURY PRZEMYSŁOWEJ**

44 **SMART trendy na Targach ITM Polska 2019**



Str. 30
NORDAC BASE: Solidna przetwornica częstotliwości do inżynierii procesowej

Str. 36
Wydajne instalacje sieciowe

Str. 38
Zdalny dostęp – idealne rozwiązanie dla producentów maszyn

Indeks reklam

- AMTEK 23
- Antaira Technologies 17
- Befared 55
- Bosch Rexroth 7, 15
- Cantoni GROUP 21
- ELHAND Transformatory 49
- Elmark Automatyka 9
- Emerson Automation Solutions 6, 25
- FAULHABER Polska 26
- FESTO 104
- HYDAC 51
- igus 29
- ITM POLSKA 44
- KIPP 57
- Konferencja Automatyków Rytro 68
- Kubler Poland 6, 35
- Lenze Polska 43
- Multiprojekt 1
- Murrelektronik 7, 37
- Nord Napędy 8, 31
- Nowimex 33
- Pepperl+Fuchs 6, 35
- RAControls 7, 39
- Robotyka.com 44
- SEM 8, 27
- STAUFF Polska 65
- TERM Tomasz Sobczak 45
- TRAKO 101
- ZELTECH MECHATRONIKA 41

NOWOŚCI TECHNICZNE

Emerson umożliwia redukcję kosztów oraz złożoności dzięki wyspom zaworowym ze strefami bezpieczeństwa

Firma Emerson wprowadziła możliwość zintegrowania wielu stref bezpieczeństwa na pojedynczej wyspie zaworowej ASCO Numatics™ serii 503. Nowe strefowe funkcje bezpieczeństwa umożliwiają izolację nawet 3 stref bezpieczeństwa na maszynie z jedną wyspą zaworową, co poprawia produktywność oraz redukuje koszty. Rozwiązanie to umożliwia utworzenie kilku niezależnych stref bezpieczeństwa elektropneumatycznego przy jednoczesnej obecności niezależnych sekcji bez zabezpieczeń na jednej wyspie zaworowej. Alternatywne rozwiązania umożliwiają odizolowanie tylko i wyłącznie jednej strefy na każdą wyspę. Więcej informacji na stronie: www.asconumatics.pl w zakładce Nowości.

Emerson Automation Solutions
www.asconumatics.pl

Smart-Ex® Watch 01 – zawsze w kontakcie

Na Targach Hannover Messe 2019 firma ecom, będąca marką Pepperl+Fuchs, zaprezentowała nową generację urządzeń mobilnych do zastosowań przemysłowych. Wśród nich znaleźć można było zegarek Smart-Ex® Watch 01, który jest pierwszym inteligentnym zegarkiem dla strefy zagrożonej wybuchem. Można go zsynchronizować z urządzeniami takimi, jak smartfon Smart-Ex® 02 i telefon Ex-Handy 10. Oferuje nową formę komunikacji i poprawia bezpieczeństwo pracowników. Wbudowany odbiornik GPS i czujniki ruchu umożliwiają monitorowanie bieżących parametrów i gwarantują szybkie określenie lokalizacji w sytuacji awaryjnej. Wykorzystanie zaawansowanych funkcji sterowania głosem i gestami nadgarstka ułatwia obsługę zegarka. Obrotowy pierścień umożliwia intuicyjne, szybkie i łatwe przewijanie aplikacji i instrukcji, nawet w rękawicach. Potężna bateria może działać nawet przez pięć dni, a GPS może być używany bez przerwy przez 28 godzin. Zegarek pracuje w szerokim zakresie temperatur, a jego konstrukcja wytrzymuje uderzenia i wibracje mechaniczne.

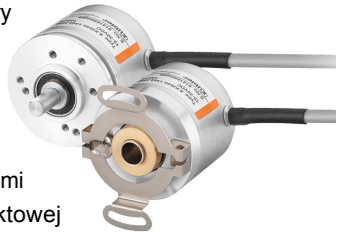
Dane techniczne:

- system operacyjny Tizen Based Wearables OS 4.0;
- pamięć do 1,5 GB z możliwością rozszerzenia do 4 GB;
- wyświetlacz Gorilla® Glass SR+ o średnicy 33 mm i rozdzielczości 216 × 432;
- wbudowane czujniki: akcelerometr, żyroskop, barometr, czujnik tętna;
- GPS, NFC;
- Wi-Fi 2,4 GHz, Bluetooth® A2DP, AVRCP;
- praca w temperaturze otoczenia od –15°C do +50°C;
- waga 63 g;
- certyfikat ATEX II 3GD Ex ic.

PEPPERL+FUCHS Sp. z o.o.
www.pepperl-fuchs.pl

Redakcja miesięcznika „Napędy i Sterowanie”
zaprasza do odwiedzenia **stoisko 69 A**
w **pawilonie 4** na Targach **ITM** w Poznaniu
w dniach 4–7 czerwca br.

Wersja ekonomicznych enkoderów Kübler



Kompaktowe optyczne enkodery Sendix KIS40/KIH 40 świetnie nadają się dla wszystkich typowych aplikacji. Serię KI40 zaprojektowano ze standardowymi interfejsami oraz wykonaniami mechanicznymi. Dzięki kompaktowej obudowie o długości zaledwie 40 mm są idealne do instalacji z niedużym miejscem montażowym, do małych maszyn oraz innych aplikacji.

Enkodery KI40 występują w wersji z wałkiem oraz ślepym otworem (o średnicy 8 mm). Szczelność z IP64 oraz zakres temperatury pracy od –20 do +70°C pozwala na ich zastosowanie także w trudnym środowisku pracy. Dzięki optycznemu sensorowi są w 100% odporne na pola magnetyczne. Rozdzielczość maksymalna to 2500 imp./obr. Produkt jest solidnie wykonany, a oprócz aluminiowej obudowy cechuje go również solidna struktura zamocowania łożysk Safety-Lock™ Design. Z tego powodu enkodery pozostają odporne na wibracje, uderzenia i błędy montażowe, zapewniając długą żywotność działania. Wyjścia, zabezpieczone przed zwarciem oraz odwrotną polaryzacją, gwarantują bezpieczną i bezawaryjną instalację. Wszystkie te cechy pozwalają producentowi oferować na enkodery dwuletnią gwarancję. Większość opcji KIS/KIH dostępnych w magazynie w Polsce.

Kubler Poland
www.kubler.pl

NOWOŚCI TECHNICZNE

Przemienniki PowerFlex 755TM

Nowoczesna i przemyślana konstrukcja, zaawansowane funkcje aplikacyjne, szereg mechanizmów zabezpieczających oraz ułatwiających uruchomienie przemiennika, a także najwyższa niezawodność sprawiają, iż przemienniki serii PowerFlex 755TM stanowią najlepsze rozwiązanie dedykowane do najbardziej wymagających aplikacji napędowych.

Jedną z funkcji przemiennika jest strojenie adaptacyjne, za pomocą którego jest on w stanie m.in. wytłumić rezonans mechaniczny. Z kolei funkcja obserwacji zmian obciążenia silnika pomaga skrócić czas rozruchu i umożliwia lepsze dopasowanie przemiennika do obciążenia. Ponadto, układ monitorowania szyny DC informuje o potencjalnych problemach związanych z kondensatorami, zwiększając tym samym czas bezawaryjnej pracy przemiennika.

Przemienniki PowerFlex 755TM reprezentują najbardziej zaawansowaną serię przemienników z rodziny Power- Flex 750. Są one oferowane w zakresie mocy 200–2300 kW i zasilane napięciem z zakresu 400–690 V AC (kilka podzakresów). Model ten łączy w sobie najbardziej rozbudowane rozwiązania stosowane w przemiennikach częstotliwości, takie jak: wbudowany filtr wyższych harmonicznych typu LCL, prostownik typu AFE (możliwość zwrotu energii) oraz połączenie modułów mocy przemiennika za pomocą szyny DC (możliwość bezpośredniej wymiany energii pomiędzy poszczególnymi modułami mocy). Przemienniki tej serii oferowane są w kilku wersjach typu obudowy: IP00, IP21 oraz IP54.

RAControls Sp. z o.o.
www.racontrols.pl

Konfigurator online. Stwórz własny Mico Pro online

Każda stacja Mico Pro jest inna. System inteligentnego monitorowania prądu można w pełni dopasować do potrzeb aplikacji. Nowy konfigurator online znacznie ułatwia ten proces.

Akapit Mico Pro to gwarancja niezawodnego zasilania. Ten w pełni konfigurowalny system monitoruje prąd i wykrywa momenty krytyczne w odpowiednim czasie. Wykrywa zbliżanie się do maksymalnego obciążenia i wyłącza uszkodzone kanały, aby zapobiec awarii i zapewnić maksymalną dostępność maszyn. Proces załączania jest opatentowany i działa w myśl zasady: „Tak szybko, jak trzeba; najpóźniej, jak to możliwe".

System jest modułowy: każda stacja składa się z jednego (lub większej liczby) modułu zasilania i wąskich modułów wyjściowych. Dzięki temu można stworzyć konfigurację, która najlepiej odpowiada wymaganiom aplikacji i zachowuje optymalny bilans kosztów i zysków przy maksymalnej oszczędności miejsca.

Konfigurator Mico Pro ułatwia projektowanie systemu. Unikalny system można stworzyć za pomocą kilku kliknięć. Moduły zasilania i moduły wyjściowe można wstawiać w dowolnym miejscu, a na ekranie wyświetlany jest podgląd stworzonej stacji. Na bieżąco obliczane jest wymagane miejsce w szafie sterowniczej oraz całkowita wartość prądu, dzięki czemu można dobrać odpowiedni zasilacz.

Po zakończeniu konfigurowania wszystkie parametry są zapisywane i można je pobrać jako arkusz kalkulacyjny Excel lub dokument PDF. Można je również przesłać do koszyka w sklepie internetowym Murrelektronik. Możliwe jest także zapisanie konfiguracji i jej ponowne wczytanie w celu dokonania modyfikacji koniecznych podczas planowania kolejnych projektów.

Murrelektronik Sp. z o.o.
www.murrelektronik.pl

Niezawodne bloki sterujące dla największej na świecie prasy krawędziowej

Firma Bosch Rexroth wraz z Baykal Machinery stworzyła prasę krawędziową o największej na świecie sile zamykania wśród tego typu maszyn.

Rekord świata! W Turcji po raz pierwszy zbudowano prasę krawędziową o sile zamykania sięgającej 60 000 kN. Twórcą tej wyjątkowej konstrukcji jest firma Baykal Machinery. Poza prasami krawędziowymi firma ta specjalizuje się w budowie maszyn do cięcia laserowego i plazmowego, maszyn do cięcia strumieniem wody oraz pionowych centrów obróbkowych dla klientów na całym świecie. Firma Bosch Rexroth współpracowała z Baykal Machinery już na etapie projektowania tej rekordowej prasy – tak jak w przypadku wielu wcześniejszych wspólnych przedsięwzięć.

Największym wyzwaniem, z jakim musieli zmierzyć się specjaliści po obu stronach, było uzyskanie wyżej wspomnianej siły zamykającej przy utrzymaniu stałej wydajności. Udało się to osiągnąć, łącząc specjalnie zaprojektowany dla tego systemu hydrauliczny blok sterujący firmy Bosch Rexroth oraz dwie pompy wyporowe o wysokiej wydajności. Prasa krawędziowa uzyskuje znaczną prędkość zbliżania, wynoszącą 50 mm/s, a wytłaczanie odbywa się z prędkością 6 mm/s. Nie są to jedyne zdumiewające parametry tej maszyny. Jednym z głównym wymogów było zapewnienie takiej wydajności przy bardzo kompaktowej budowie. Konstruktorom udało się stworzyć system o długości 8,5 m.

Bosch Rexroth Sp. z o.o.
www.boschrexroth.pl

NOWOŚCI TECHNICZNE

Wyświetlacze LDP800

Firma SEM wprowadza nową serię wyświetlaczy przemysłowych z programowaną, trzykolorową matrycą LED. Wyświetlacze z rodziny LDP800 pozwalają wyświetlać jednocześnie kilka zmiennych. Mogą to być liczby i teksty o różnej wielkości znaków. Dzięki temu obok cyfrowego wyniku pomiaru można umieścić np. opis jednostek lub dopuszczalne wartości dla mierzonego parametru. LDP800 mogą wyświetlać 3, 6 lub 9 znaków o wysokości 128 mm oraz opisy o wysokości 56 mm. Wyświetlacze są dostępne w wersji z wejściem analogowym, licznikowym lub interfejsem szeregowym. Każda z wersji może być zaprogramowana do zmiany koloru wyświetlania przy przekroczeniu wartości progowej. Użytkownik może wybierać sposób wyświetlania: z opisem jednostek lub bez. Opis jest edytowalny. Najwięcej interesujących opcji ma wersja licznikowa, z podwójnym odczytem, która pozwala wyświetlać jednocześnie dwie z wielu dostępnych w czasie rzeczywistym zmiennych i może być wykorzystana do kontroli produkcji. Dostępne zmienne to m.in.: plan narastająco, licznik, czas taktu (średni i chwilowy), wydajność, a także stały parametr – target. LDP800 są wykonane w standardzie przemysłowym, w trwałych obudowach metalowych o stopniu ochrony IP54.

SEM
www.sem.pl

Bezpieczne, niezawodne i wszechstronne: przekładnie z kołnierzem wytłaczarki

Dla cięższej eksploatacji NORD DRIVESYSTEMS rozszerza modułową przekładnię przemysłową o kołnierze do wytłaczarki. Kołnierze można dostosować dla łatwego montażu do niemal wszystkich wymiarów montażowych.

Dla wymiaru przekładni przemysłowych od 5 do 11 o znamionowym momencie obrotowym od 15 KNm do 80 kNm NORD oferuje kilka wersji kołnierza wytłaczarki. Dzięki dużym łożyskom oporowym można zapewnić bezpieczne kompensowanie sił i długą trwałość eksploatacyjną. Kołnierze wytłaczarki umożliwiają zakładom konstrukcyjnym i zakładom przetwórstwa tworzyw sztucznych uzyskanie napędów, które cechują bezpieczeństwo, niezawodność i wszechstronność na wysokim poziomie. Oferta przekładni przemysłowych Grupy NORD zapewnia szeroki zakres opcji dla wałów napędzających i napędzanych, pozycji montażowych, uszczelnień i monitorowania temperatury.

NORD Napędy Sp. z o.o.
www.nord.com

reklama

Które wydanie jest **dla Ciebie?**

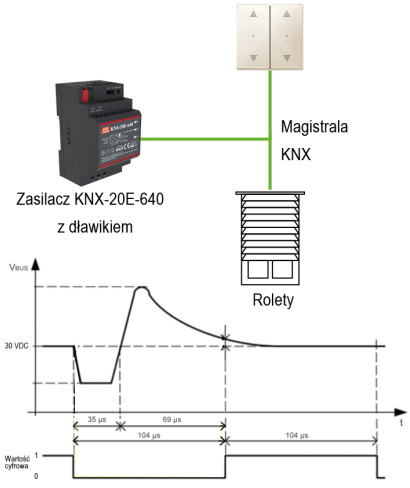
6/2019 — Przemysł maszynowy, innowacje
Przemysł 4.0

7-8/2019 — Systemy automatyzacji w górnictwie
Automatyzacja transportu szynowego

9/2019 — Automatyka w energetyce
Automatyka w przemyśle spożywczym

Prawidłowe zasilanie magistrali KNX

W ostatnich latach rośnie zapotrzebowanie na wygodę i wszechstronność zarówno w budynkach mieszkalnych, jak i tych o charakterze komercyjnym. Objawia się to większą funkcjonalnością instalacji elektrycznych poprzez stosowanie inteligentnego sterowania, niskiego zużycia energii oraz zapewnienia niezawodności i bezpieczeństwa na wysokim poziomie. Tradycyjne instalacje są dość skomplikowane pod względem okablowania elektrycznego, ponieważ każda funkcja urządzenia wymaga własnego przewodu sterującego. Wymaga to dużego nakładu pracy w zakresie projektowania, montażu, wdrożenia oraz utrzymania instalacji. Duże zagęszczenie kabli nie dość, że pochłania dodatkową przestrzeń, to może również zwiększać ryzyko powstania pożaru. W związku z tym pod koniec lat 80. XX w. opracowano instalację nowej generacji o nazwie KNX, do jednokierunkowej komunikacji między dowolnym sterownikiem, czujnikiem i urządzeniem wykonawczym. System KNX wykorzystuje jedynie dwuprzewodową magistralę instalacyjną, która przekazuje sygnały między urządzeniami równolegle do przewodu zasilającego 230 V AC. Dlatego system KNX znacznie zmniejsza ilość przewodów elektrycznych wewnątrz budynku. System KNX może być zrealizowany w bardzo prosty sposób z kilkoma urządzeniami, ale także jako rozbudowany i złożony system z setkami urządzeń w budynku. W obu przypadkach do poprawnego działania magistrali KNX potrzebne jest jej prawidłowe zasilanie.



Rys. 1

Dlaczego zasilacz KNX jest niezbędny dla magistrali KNX i nie można go zastąpić konwencjonalnym zasilaczem impulsowym? Otóż dlatego, że zasilacz KNX musi posiadać zintegrowany dławik.

Gdy z włącznika przesyłamy aktywny sygnał impulsowy do magistrali, zasilacz KNX natychmiast zareaguje na impuls wyrównawczy dzięki zintegrowanemu dławikowi. Impuls aktywny i wyrównawczy jest następnie łączony w celu uzyskania prawidłowego sygnału reprezentującego „0” w cyfrowym świecie. Połączony kształt fali powinien zostać zakończony w ciągu 104 µs, co odpowiada 10 kHz, a następnie w przypadku innego przebiegu dla „0” lub braku przebiegu (tylko 30 V DC) dla „1” w ciągu kolejnych 104 µs. Taka numeracja sekwencyjna „0” i „1” reprezentuje rzeczywistą funkcję/polecenie od przycisku np. do docelowego siłownika systemu żaluzji (rysunek 1). W rezultacie ten prosty system KNX działa prawidłowo, czego nie moglibyśmy uzyskać, podłączając do magistrali zwykły zasilacz z wyjściem 30 V DC. Podobnie działają inne urządzenia KNX, np. oświetlenie, ogrzewanie, systemy wentylacji czy bezpieczeństwa. Mają one tę samą zasadę działania na wspólnej magistrali i dlatego zasilacz KNX ze zintegrowanym dławikiem jest bardzo istotny dla utrzymania normalnej pracy systemu. W ofercie firmy MEAN WELL (światowego lidera w produkcji standardowych zasilaczy impulsowych) dostępne są dwa modele zasilaczy dedykowanych do systemów KNX. Jeden o mocy 19,2 W KNX-20E-640 i o maksymalnej wydajności prądowej 640 mA oraz drugi o mocy 38,4 W KNX-40E-1280 i o wydajności prądowej 1280 mA. Każde urządzenie KNX zużywa 10 mA z zasilacza do przesyłania i odbierania sygnału w magistrali, co oznacza, że w przypadku zastosowania powyższych zasilaczy MEAN WELL maksymalna dopuszczalna liczba urządzenia na magistrali wynosi 64 lub 128 sztuk. Urządzenia zapewniają stabilne napięcie magistrali oraz posiadają zabezpieczenie przed zwarciem i przeciążeniem. Dzięki kompaktowemu rozmiarowi (odpowiednio 3 i 4 moduły) zajmują mało miejsca w rozdzielnicy. Więcej informacji o produktach KNX firmy MEAN WELL można znaleźć na stronie **www.meanwell.elmark.com.pl**. ■

Elmark Automatyka Sp. z o.o.

reklama

MEAN WELL

KNX

- 4 wyjścia przekaźnikowe
- 4 wyjścia 0-10V
- funkcja ściemniania i przełączanie ON/OFF
- sygnalizacja LED dla każdego kanału
- liniowa lub logarytmiczna krzywa ściemniania
- programowanie za pomocą oprogramowania ETS
- sterowanie ręczne za pomocą przycisku na panelu
- programowalne różne funkcje czasu i sceny

www.elmark.com.pl

ELMARK Automatyka

Elmark Automatyka Sp. z o.o.
tel. 22 541 84 60
zasilacze@elmark.com.pl
www.meanwell.elmark.com.pl

Czym są sterowniki ruchu i jaką dają nam przewagę nad zwykłym PLC?

Różnica między sterownikami PLC a sterownikami ruchu nie jest dziś tak wyraźna, jak jeszcze kilka lat temu. Pierwsze skupiają się na kontroli procesu i sterowaniu maszyną. Mają bogatsze możliwości rozbudowy o dodatkowe moduły komunikacyjne, wejść/wyjść cyfrowych i analogowych, dedykowane moduły specjalnie do obsługi czujników temperaturowych, potencjometrów, tensometrów itd. Drugie zaś skupiają się na ruchu – szeroko pojętej obsłudze silników serwo, krokówek, silników liniowych, a nawet falowników. Czy zatem zwykły sterownik PLC nie nadaje się do sterowania ruchem?

Odpowiedź nie jest jednoznaczna, bo zależy to od danej aplikacji. Pytanie, jakie należałoby sobie postawić przy wyborze pomiędzy sterownikiem PLC a sterownikiem ruchu, powinno brzmieć: co zyskujemy, wybierając sterownik ruchu?

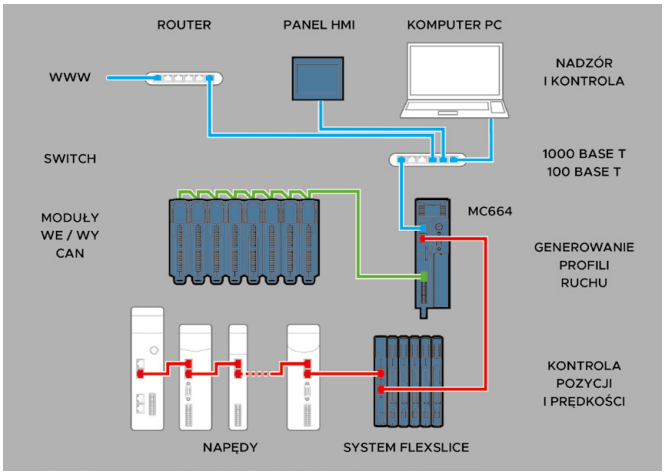
Sterownik ruchu jest „mózgiem" systemu sterowania pracującego w pętli zamkniętego sprzężenia zwrotnego. Pozwala na kontrolę wielu osi zależnych od siebie i generowanie dla nich trajektorii ruchu. Urządzenia tej klasy posiadają zaimplementowane funkcje, pozwalające na stworzenie gotowych aplikacji przy wykorzystaniu zaledwie kilku linijek kodu (cięcie w locie, krzywki camowskie czy chociażby ruch po sferze). Wyśmienitym przedstawicielem tej klasy sterowników są produkty marki Trio Motion. Ich najważniejsze funkcje zostały opisane poniżej.

Programowanie w jednym spójnym środowisku

Motion Perfect został stworzony do programowania sterowników ruchu obsługujących maszyny posiadające nawet do 64 osi, które mogą być ze sobą skoordynowane. Aplikacja została zaprojektowana w ten sposób, aby ustawienia, diagnostyka, uruchomienie i korzystanie z urządzeń były jak najprostsze. Istnieje możliwość programowania w językach IEC 61131-3 i TrioBASIC, dzięki czemu każdy może wybrać najbardziej przyjazny dla niego sposób pisania aplikacji. Motion Perfect zapewnia użytkownikowi łatwy do zrozumienia interfejs oparty na systemie Windows, umożliwiający szybkie tworzenie aplikacji, konfigurację kontrolera i monitorowanie jego procesów.

Łatwe programowanie złożonych ruchów

Język programowania TrioBASIC posiada bogatą bibliotekę instrukcji oraz narzędzi opracowywanych i rozwijanych przez ostatnie 24 lata. Dzięki temu nawet programowanie zaawansowanych ruchów i złożonych aplikacji ruchu staje się proste. Możliwość używania podprogramów pozwala użytkownikom na tworzenie programów modułowych, idealnych do ponownego wykorzystania kodu w innych aplikacjach. Kod jest bardziej czytelny i przejrzysty, co z kolei pozwala zaoszczędzić czas przy wprowadzaniu zmian w programie.



Schemat zaawansowanego układu sterowania ruchem oparty na sieci EtherCAT

Składnia języka jest podobna do innych strukturalnych języków BASIC. Funkcje obejmują:

- interpolację liniową, kołową, spiralną i sferyczną;
- zmienne profile prędkości/przyspieszenia;
- elektroniczną przekładnię;
- elektroniczne profile krzywek generujące ruch w oparciu o położenie innej osi lub w oparciu o czas;
- łączenie wielu ruchów/krzywek dla wygenerowania końcowego ruchu;
- szybką reakcję na zdarzenia (to idealna funkcja do dodawania ruchu w procesach ciągłych);
- funkcje komunikacyjne umożliwiające połączenie sterownika z panelami HMI lub SCADĄ;
- bezpłatne oprogramowanie i narzędzia.

Modułowa architektura oszczędza koszty

Bogaty asortyment sterowników ruchu z unikalną, modułową konstrukcją sprawia, że niezależnie od wybranego napędu, silnika i sprzężenia zwrotnego będzie można go kontrolować za pomocą sprzętu zoptymalizowanego do danej aplikacji.

Ochrona własności intelektualnej dzięki szyfrowaniu programu

Project Encryptor to narzędzie umożliwiające licencjonowanie własności intelektualnej w dowolnym sterowniku ruchu. Projekt jest rozwijany przy użyciu Motion Perfect, a po jego zakończeniu można go zaszyfrować. Po zaszyfrowaniu program jest bezpieczny od dalszej dystrybucji i może być załadowany do kontrolera tylko za pomocą poprawnego klucza. Klucz jest unikalny zarówno dla numeru seryjnego kontrolera, jak i projektu źródłowego. Licencjonując swoją własność intelektualną, zapewnia się większe bezpieczeństwo maszynom – umożliwiając dostęp diagnostyczny w celu konserwacji i aktualizacji programu.

Możliwość wyboru protokołu do sterowania

Wybierz protokół komunikacyjny do obsługi swoich napędów. Dzięki prostocie wyboru i integracji mamy zapewnioną maksymalną elastyczność. Przyszłością ruchu jest technologia sieciowa działająca w czasie rzeczywistym. Sterowniki wspierają następujące standardy komunikacyjne:

- EtherCAT;
- Sercos;
- Control Techniques SLM & PLM;
- CANopen;
- Panasonic Real Time Express RTEX.

Komunikacja z innymi systemami

Obsługa wielu protokołów komunikacyjnych zapewnia, że systemy automatyki mogą komunikować się z naszymi urządzeniami bez ograniczeń.

Dostępne są następujące protokoły komunikacyjne:

- EtherCAT I/O;
- Ethernet IP;
- Modbus TCP/IP;
- CANopen Master;
- Device Net Slave;
- Trio I/O;
- CC-Link;
- Profibus;
- Profinet I/O;
- Modbus RTU.

Wybór sposobu programowania

Język Trio Basic pozwala na proste programowanie wszystkich funkcji ruchu. Dla osób przyzwyczajonych do innego sposobu programowania dostępne są również G-Code i IEC 61131.

G-Code jest szeroko rozpowszechniony w systemach CAD/CAM dla maszyn CNC. Nasz system interpretuje standardowe kody G i M za pomocą interpretatora Trio BASIC. Daje to możliwość obsługi niestandardowych kodów G lub M.

Wbudowany standard IEC 61131 jest łatwy w użyciu, pozwala programować sterownik ruchu jak zwykły sterownik PLC.

Zintegrowane w docelowym koordynatorze ruchu jądro środowiska wykonawczego umożliwia uruchamianie wielu zadań PLC posiadającego dostęp do wszystkich wejść/wyjść dostępnych na samym urządzeniu, jak i rozproszonych. Program IEC 61131 ma dostęp do wszystkich poleceń ruchu Trio, parametrów osi, rejestrów VR i tabel.

MC4N – sterownik ruchu przeznaczony do sterowania serwonapędami i innymi urządzeniami ruchu za pośrednictwem magistrali EtherCAT

Spraw, by Twoja maszyna działała szybciej

Lepsza kontrola ruchu prowadzi do krótszego czasu cyklu i optymalnej wydajności maszyny. Nasze sterowniki ruchu zostały zaprojektowane tak, aby zapewnić wyższą wydajność maszyny. Zapewniają lepszą kontrolę pozycji, lepszą dokładność i większą prędkość.

Skróć czas dostawy maszyny

Skróć czas wymagany do zaprogramowania ruchu i zmniejsz koszty integracji i programowania. Używanie sterowników Trio Motion pomaga szybko dostarczać produkty końcowe dzięki wykorzystaniu protokołów komunikacyjnych typu *plug & play*, zmniejszających liczbę kabli potrzebnych do obsługi danej osi. Dodatkowo użycie karty SD pozwala na przechowywanie lub przesyłanie receptur, zebranych danych, programów i danych konfiguracyjnych.

Dedykowane rozwiązania

Przy większych zamówieniach producent jest otwarty na zmiany i sugestie. Może stworzyć sterownik ruchu dostosowany pod konkretnego użytkownika. Warto porozmawiać z doradcami firmy Multiprojekt i przekazać im swoje sugestie i potrzeby. Doradcy pomogą wybrać optymalne rozwiązanie lub skontaktują się z producentem. ■

www.multiprojekt.pl
MultiProjekt®

MULTIPROJEKT
ul. Fabryczna 20 A
31-553 Kraków
tel. 12-413 90 58
fax 12-376 48 94
info@multiprojekt.pl
www.multiprojekt.pl

Sprawdzone rozwiązania w nowej odsłonie – serwonapędy Estun

Estun Automation istnieje na rynku automatyki przemysłowej od 1993 roku. Jest numerem jeden w branży na rynku wschodnim i znajduje się w światowej czołówce producentów serwonapędów.

Nowe rozwiązania

Estun rozwija się w błyskawicznym tempie. W ostatnich latach firma wykonała kilka dobrze przemyślanych ruchów strategicznych, m.in. założyła centrum dystrybucyjne w Europie i wykupiła większościowe udziały kilku dużych firm z branży automatyki.

W 2016 roku Estun rozpoczął **produkcję własnych robotów przemysłowych**. W 2018 roku producent znacznie rozbudował dział robotyki – uruchomił w pełni zautomatyzowaną linię produkującą roboty przemysłowe. W ten sposób Estun przygotowuje się do wprowadzenia własnych robotów na rynki europejskie.

Na koniec 2019 roku zapowiadane jest wprowadzenie do oferty dwóch nowych serii serwonapędów:

- **ED3S** – seria jednoosiowa, pozycjonowanie EtherCAT, bezpieczeństwo STO SIL3 oraz SEMI F47, możliwość podłączenia zewnętrznego enkodera, wspólna szyna AC/DC;
- **ED3M** – seria obsługująca do 3 osi jednocześnie, pozycjonowanie Modbus, CANopen oraz EtherCAT

oraz nowej serii serwosilników:

- **EM3A** – zakres mocy od 200 W do 1000 W, mniejsze gabaryty w stosunku do serii EMJ, maks. prędkość 6000 obr./min, przeciążalność 350%, ochrona IP67.

Aktualna oferta opiera się na seriach napędów ProNet Plus oraz ProNet. Napędy te można konfigurować za pomocą **darmowego oprogramowania ESView**. W nowej wersji ESView 3.x znalazły się nowe funkcje bardzo przydatne dla programistów, m.in. wyszukiwarka parametrów oraz intuicyjne okno konfiguracji we/wy.

ProNet Plus – zastosowanie z CoDeSys

ProNet Plus – zastosowanie z panelem HMI

Napędy Estun w standardzie **obsługują protokół CANopen**. Użycie tego protokołu to właściwa droga do kontrolowania kilku napędów. Urządzeniem nadrzędnym w magistrali CANopen może być na przykład panel Weintek serii cMT z aktywowaną licencją CoDeSys. W CoDeSys zaimplementujemy logikę aplikacji, a w EasyBuilder Pro – wizualizację.

Niewątpliwą zaletą serwonapędów Estun jest **możliwość pracy bez sterownika nadrzędnego**. Wymaganą sekwencję ruchów możemy zapisać wprost w napędzie. Pełną elastyczność uzyskamy, dodając do tego urządzenie obsługujące Modbus ASCII/RTU w trybie Mastera – na przykład panel HMI Weintek, który posłuży nam do zmiany nastaw sekwencji ruchów.

Uaktualnione, intuicyjne oprogramowanie ESView 3.x i modele serwonapędów z serii ProNet Plus można przetestować na przygotowanych przez naszą firmę demach. W Multiprojekcie prowadzimy szkolenia z zakresu konfiguracji serwonapędów Estun. Zapraszamy do zapoznania się z kalendarzem najbliższych szkoleń: **www.multiprojekt.pl/Szkolenia**.

Zastosowanie serwonapędów Estun, m.in. w maszynach dziurkujących, krosnach tkackich, maszynach skrawających drewno i metal, a nawet podczas pokazów artystycznych: **www.estuneurope.eu/applications.**

ESTUN – nowa seria serwonapędów ED3S

Multiprojekt jest wyłącznym dystrybutorem produktów Estun w Polsce. Jeśli są Państwo zainteresowani tym produktem, zapraszamy do kontaktu z naszymi doradcami techniczno-handlowymi:

- Łukasz Tomaszek – doradca techniczno-handlowy, e-mail: ltomaszek@multiprojekt.pl
- Damian Rybiński – doradca techniczno-handlowy, e-mail: drybinski@multiprojekt.pl ■

www.multiprojekt.pl MulliProjekt®

MULTIPROJEKT
ul. Fabryczna 20 A
31-553 Kraków
tel. 12-413 90 58
fax 12-376 48 94
info@multiprojekt.pl
www.multiprojekt.pl

reklama

Cyfrowa transformacja techniki przemieszczeń liniowych

Ulf Lehmann

„Producenci maszyn doświadczają obecnie głębokiej zmiany pokoleniowej. Wszyscy inżynierowie i projektanci przed trzydziestką wyrośli w świecie z telefonami komórkowymi i internetem. Technologia cyfrowa odgrywa bardzo dużą rolę w ich życiu prywatnym, więc ich strategie rozwiązywania problemów są diametralnie różne niż ich starszych kolegów".

Wkracza to w coraz większym stopniu do zawodowego korzystania z technologii. Nowe pokolenie szuka konkretnych rozwiązań funkcji i procesów automatyzacji, a nie podzespołów i systemów. Mają uzasadnione oczekiwanie, że wszystkie aplikacje, kanały informacyjne i platformy powinny być równie łatwe w obsłudze jak te, którymi posługują się w życiu prywatnym. Dotyczy to także wyboru, wymiarowania i konfigurowania techniki przemieszczeń liniowych. Firma Bosch Rexroth wychodzi naprzeciw tym oczekiwaniom w coraz większej liczbie zadań automatyzacji.

Cyfrowe narzędzia inżynierskie i konfiguratory asystują użytkownikom na każdym etapie projektu. W przyszłości zostanie to jeszcze bardziej uproszczone, m.in. przy użyciu interaktywnych stron internetowych z funkcją chatu. Użytkownicy będą wykonywali swoje projekty bezpośrednio na cyfrowych bliźniakach konfigurowanych przez siebie podzespołów i systemów.

Producenci podzespołów i systemów techniki przemieszczeń liniowych stoją przed olbrzymim wyzwaniem. Z jednej strony parametry mechaniczne pozostają decydującym kryterium wyboru podzespołów. Równocześnie użytkownicy oczekują dodatkowych rozwiązań o wyższym stopniu integracji funkcji i z rozbudowanymi możliwościami komunikacyjnymi na potrzeby funkcji i procesów automatyzacji.

Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom rynku, firma Bosch Rexroth nieustannie pracuje nad nowymi rozwiązaniami. Przykładowo podzespoły i systemy techniki przemieszczeń liniowych marki Rexroth będą w przyszłości opatrzone cyfrową tabliczką znamionową. Ułatwi to ich uruchamianie, a także pozwoli na odczytanie wszystkich niezbędnych danych w trakcie przeglądu. Wkrótce na rynek trafią mechanizmy śrubowo-toczne z inteligentnymi czujnikami. Rejestrują one dane bieżące, takie jak temperatura i drgania. Na podstawie tych danych zintegrowane rozproszone układy analityczne będą, za pomocą algorytmów, ustalały stopień zużycia w celu monitorowania stanu osi liniowych. Kolejny pomysł to projektowanie kompletnych modułów mechatronicznych do wykonywania takich funkcji, jak łączenie i dociskanie. Przykładem takiego produktu jest nowy zestaw Smart Press Kit firmy Bosch Rexroth, rozwiązanie *Plug & Produce*, które użytkownik musi tylko sparametryzować. Podobnie jak wszystkie nowe systemy, rozwiązanie to może komunikować się za pośrednictwem otwartych interfejsów.

Cyfrowa transformacja będzie kontynuowana. Grupa Bosch staje się wiodącą firmą w świecie Internetu Rzeczy (IoT), a inżynierowie i badacze z różnych jej działów wspólnie realizują wiele projektów rozwojowych. Dział techniki przemieszczeń liniowych Bosch Rexroth korzysta z unikalnego *know-how* Grupy Bosch czy to w dziedzinie czujników, czy to programowania.

Nowe pokolenie inżynierów ma wysokie oczekiwania, a technika przemieszczeń liniowych coraz skuteczniej

wychodzi im naprzeciw. Jest łatwa w użyciu w całym procesie inżynierskim, zawiera coraz więcej funkcji konserwacji predykcyjnej i optymalizacji procesów, a jej cyfrowe imitacje będą doskonale pasowały do wirtualnych projektów i strumieni wartości w przyszłości. ■

dr Ulf Lehmann – szef działu techniki przemieszczeń liniowych w firmie Bosch Rexroth AG

rexroth
A Bosch Company

Bosch Rexroth Sp. z o.o.
ul. Jutrzenki 102/104
02-230 Warszawa
tel. 22-738 18 00
fax 22-758 87 35
e-mail: info@boschrexroth.pl
www.boschrexroth.pl

Jesteśmy globalnym partnerem w zakresie sprawdzonych rozwiązań z zastosowaniem napędów hydraulicznych. Nieustannie wyznaczamy nowe standardy wydajności. Pomagamy naszym klientom sterować siłą oraz momentem obrotowym. Nasze rozwiązania z zakresu usieciowionej hydrauliki doskonale wpasowują się w nowoczesną architekturę sterowania: od małych po wielkie, od seryjnych po duże biznesowe projekty - wszystko przy wsparciu globalnej sieci serwisowej. **Now. Next. Beyond.**

www.connected-hydraulics.pl

rexroth
A Bosch Company

Prasy zaklejające firmy Frey dotłaczają elementy spiekane

Coraz większa liczba komponentów w branży motoryzacyjnej jest produkowana poprzez prasowanie proszków stopów metali w formach. W ten sposób można znacznie taniej produkować elementy, które wcześniej wymagały zastosowania czasochłonnej obróbki.

Prasy zaklejające budowane przez bawarską firmę Frey & Co. w Lenggries-Fleck służą do dotłaczania elementów po procesie spiekania.

– Ten etap jest konieczny, ponieważ po procesie spiekania zawsze pozostaje minimalna ilość odkształceń. Wyrównujemy je za pomocą kalibracji, a jednocześnie zagęszczamy strukturę materiału – powiedział Kaspar Waldherr, dyrektor ds. technicznych firmy Frey.

Aby umożliwić ten proces formowania na zimno, prasy osiowe firmy Frey pracują z ciśnieniem do 315 barów. W przypadku nowej serii KA po raz pierwszy wprowadzono nowe rozwiązanie *plug-and-run* firmy Bosch Rexroth. Są to gotowe do użytku autonomiczne osie, które łączą sprawdzone funkcje serwonapędów z wysoką gęstością mocy układów hydraulicznych.

Ekonomiczny i cichy

– W procesie produkcyjnym zawsze występują fazy cyklu, w których siłowniki nie są obciążone, ale centralne jednostki hydrauliczne pracują nadal – twierdzi Kaspar Waldherr.

W porównaniu z rozwiązaniami konwencjonalnymi osie serwohydrauliczne (SHA) zużywają mniej mocy, ponieważ serwonapęd elektryczny cały czas reguluje prędkość silnika według poboru mocy pompy. Straty dławienia spowodowane przez sterownik są eliminowane, zmniejszają się wymogi w zakresie chłodzenia.

– Oszczędności są ogromne i znacznie przekraczają nasze początkowe oczekiwania – powiedział Waldherr.

Ponadto osie SHA są znacznie cichsze dzięki umieszczeniu pompy w bloku sterującym. Ze względu na to, że centralne hydrauliczne jednostki napędowe muszą działać także w czasie przerw w procesie, aby utrzymać ciśnienie w systemie, na hali panuje ciągły hałas.

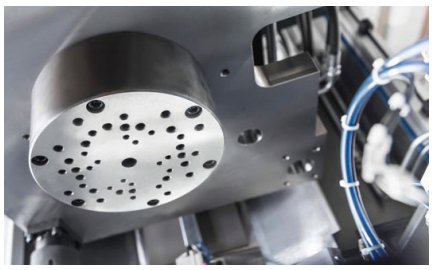
– Te trzy jednostki SHA są znacznie cichsze, gdy pracują, a bez obciążenia nie wydają żadnego odgłosu – wyjaśnia dyrektor ds. technicznych.

Jeśli chodzi o sterownik, firma Frey stosuje standaryzowane serwokonwertery IndraDrive w połączeniu z systemem logiki ruchu IndraMotion MLC firmy Bosch Rexroth. Oprogramowanie napędu i sterowania zawiera specjalną bibliotekę SHA, która automatycznie uwzględnia wszystkie szczególne cechy medium roboczego. Zadania systemu hydraulicznego są realizowane przez serwonapędy. Rozwiązanie to obejmuje również wszystkie dotychczasowe funkcje, takie jak regulacja osi czy technologia bezpieczeństwa, oparte na napędzie za pomocą jednostki sterującej. Firma Frey jest zatem w stanie zbudować prasę osiową spełniającą wymogi normy EN ISO 13849-1, osiągającą określony w niej najwyższy poziom wydajności PL „e". Taka maksymalna ochrona na wypadek błędów oraz nieprawidłowych operacji jest niezbędna zarówno dla bezpieczeństwa operatora, jak i maszyny – ponieważ maszyny są ładowane m.in. ręcznie.

– Z załadunkiem ręcznym mamy do czynienia przy produkcji niewielkich serii. Bezpieczeństwo ma w tym przypadku kluczowe znaczenie – powiedział Kaspar Waldherr.

Kompaktowa budowa, brak zbiornika

Maszyny produkowane przez firmę Frey zyskują przewagę także dzięki swej kompaktowej budowie. Umożliwia to mechatroniczne połączenie technologii napędu hydraulicznego i elektrycznego – wystarczy bardzo niewielka ilość oleju, a więc nie jest potrzebny oddzielny zbiornik.



Prasy zaklejające firmy Frey nadają ostateczny kształt elementom spiekanym. Pomoc zapewniają osie elektrohydrauliczne *plug-and-run* firmy Bosch Rexroth

– Kiedyś zbiornik oleju o pojemności ponad 1000 litrów był koniecznością. Teraz już go nie potrzebujemy, nawet jeśli system hydrauliczny wymaga rozbudowy na potrzeby obsługi procesów peryferyjnych. Możemy zrezygnować z wymiany oleju i zaoszczędzić na kosztownych rozwiązaniach konstrukcyjnych zabezpieczających przed wyciekami – mówi Kaspar Waldherr.

W prasie osiowej, oprócz trzech osi serwohydraulicznych, pozostałe funkcje peryferyjne o stosunkowo niskich wymaganiach w zakresie mocy są zasilane hydraulicznie. W tym celu firma Frey wykorzystuje nowe, kompaktowe jednostki ABPAC, dostarczane przez firmę Bosch Rexroth, które można dostosować do potrzeb klienta. ■

rexroth
A Bosch Company

Bosch Rexroth Sp. z o.o.
ul. Jutrzenki 102/104
02-230 Warszawa
tel. 22-738 18 00
fax 22-758 87 35
e-mail: info@boschrexroth.pl
www.boschrexroth.pl

- **Rynek czujników wizyjnych**

ResearchAndMarkets udostępniło raport „Vision Sensor Market by Sensor Type, Application, End-User Industry, and Geography – Global Forecast to 2023".

Oczekuje się, że rynek czujników wizyjnych wzrośnie z poziomu 2,5 miliardów dolarów w ubiegłym roku do 4,5 miliardów dolarów w 2023 roku. Oznacza to średni wzrost rokroczny na poziomie 12,2%.

Kluczowe czynniki napędzające rynek czujników wizyjnych obejmują rozwój przemysłu elektronicznego i elektrycznego, wykorzystanie technologii widzenia maszynowego w przemyśle motoryzacyjnym oraz wysiłki firm produkcyjnych skupione na optymalizacji produkcji.

Największy wpływ na wzrost w prognozowanym okresie będą miały aplikacje związane z kontrolą jakości. Spowodowane jest to rosnącym naciskiem ze strony przemysłu motoryzacyjnego, żywności i napojów oraz przemysłu farmaceutycznego na inspekcję gotowych komponentów pod kątem wad zarówno ze względu na ich wykonanie, jak i późniejszy montaż.

Największy udział w rynku czujników wizyjnych w 2017 roku miał region Azji i Pacyfiku (APEC), który prawdopodobnie będzie świadkiem najwyższego wzrostu rokrocznego w prognozowanym okresie. Główne czynniki napędzające rozwój rynku czujników wizyjnych w tej strefie obejmują zwiększenie wydatków na automatyzację przemysłu w celu obniżenia kosztów produkcji, zminimalizowanie czasu wprowadzania produktów na rynek oraz poprawę standardów jakości w różnych sektorach, takich jak motoryzacja, elektronika, żywność i napoje oraz produkcja opakowań. *Źródło: yahoo*

- **WeRide stawia na autonomiczne taksówki**

Chiński startup WeRide rozpoczął zapisy na jazdy próbne taksówkami autonomicznymi w mieście Anqing, położonym w prowincji Anhui.

Stworzony przez firmę pojazd posiada poziom autonomiczności GoA 4, co oznacza, że kierowca nie musi ingerować w jakiekolwiek czynności związane z prowadzeniem pojazdu, aby zachować własne bezpieczeństwo, natomiast autonomiczna podróż możliwa jest w określonych warunkach lub w wyznaczonych do tego celu strefach.

Wei Xiaoming, szef lokalnego samorządu, był pierwszą osobą, która przetestowała samochód WeRide. Pozostali mieszkańcy Anqing mogą zarezerwować jazdę próbną przez internet lub dedykowaną aplikację mobilną.

Chiński przedsiębiorca ma nadzieję, że do końca tego roku będzie dysponował flotą 100 autonomicznych pojazdów.

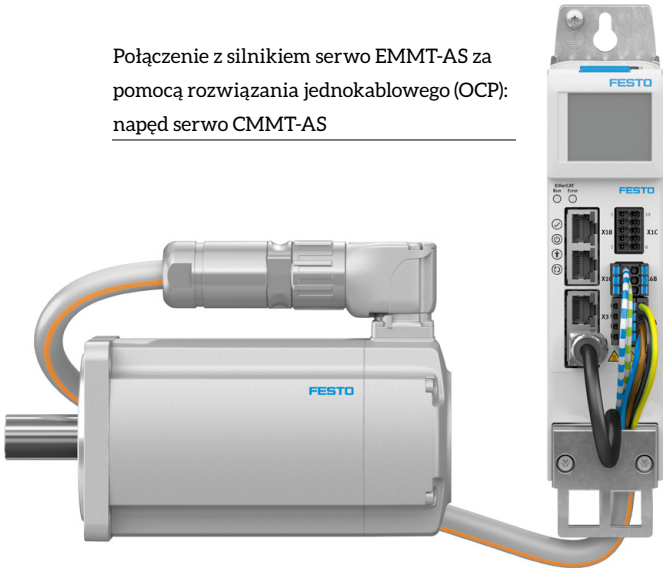
Firma WeRide została założona w Dolinie Krzemowej w 2017 roku przez Wanga Jina, który niegdyś kierował zespołem rozwijającym autonomiczne samochody w Baidu. Obecnie kierowana jest przez Tony'ego Hana, który wcześniej był głównym naukowcem wspomnianej jednostki badawczej. *Źródło: kr-asia*

reklama

Perfekcyjnie zintegrowane

Kompletny system napędowy składający się z napędu serwo CMMT-AS i silnika serwo EMMT-AS z Festo zapewnia pełną integrację sprzętu i oprogramowania. Użytkownicy mogą w zaledwie kilka minut uruchomić kompletny system napędowy dzięki oprogramowaniu Festo Automation Suite.

Nowe napędy serwo CMMT-AS i silniki serwo EMMT-AS posiadają wiele zalet: ogromne możliwości łączenia sprzętu i oprogramowania, dużą wydajność, inteligentne projektowanie i prostą obsługę. Dodatkowe korzyści to dynamiczny ruch i precyzyjne pozycjonowanie punkt do punktu oraz interpolacja. Inną ważną zaletą jest niezwykle proste i szybkie uruchomienie kompletnego systemu.



Połączenie z silnikiem serwo EMMT-AS za pomocą rozwiązania jednokablowego (OCP): napęd serwo CMMT-AS

Bardzo prosta integracja

Dzięki wbudowanemu kreatorowi uruchomienia wystarczy pięć kroków, aby przygotować do pracy kompletny system. Znacznie uproszczona integracja napędu serwo CMMT-AS z programem sterującym z CPX-E-CEC wymaga jedynie dwóch kliknięć zamiast stu – oprogramowanie Festo Automation Suite wykonuje w tle resztę zadań. Wbudowane programowanie sterownika z technologią CODESYS może być wykorzystane do sterowania ruchem i funkcjami robota.

Festo Automation Suite jest idealnym narzędziem do parametryzacji i programowania kompletnego systemu napędowego.

Napęd serwo CMMT-AS o mocy do 2,5 kW z opcjonalnym panelem operatorskim CDSB

Oprogramowanie umożliwia znalezienie oraz bezpieczne i bezbłędne zainstalowanie dodatków i rozszerzeń odpowiednich dla danego urządzenia w przypadku komponentów mechanicznych oraz sterowania. Jest również bardzo wygodne w użyciu, gdyż zapewnia bezpośredni dostęp do informacji o urządzeniu oraz do instrukcji obsługi.

Napęd CMMT-AS w połączeniu z systemami sterowania CPX-E zapewnia optymalne działanie w wielu branżach, od montażu i techniki manipulacji po systemy pakowania i przemysł elektroniczny. Integracja napędu CMMT-AS jest prosta i szybka we wszystkich zastosowaniach dzięki możliwości podłączenia sterowników PLC wszystkich znanych producentów bezpośrednio do magistrali Fieldbus.

Koncepcja elastycznych układów sterowania zaimplementowana jest w platformie automatyzacji Festo. Znakiem rozpoznawczym platformy jest doskonała i pełna komunikacja między sterownikiem, napędem serwo i systemem mechanicznym.

Napęd serwo CMMT-AS można zintegrować bezpośrednio z układem sterowania innego dostawcy. Napęd CMMT-AS będzie zachowywał się tak, jak gdyby był napędem dostawcy sterownika. Identyczne działanie oznacza, że napęd CMMT-AS

Dane techniczne dotyczące napędu CMMT-AS i silnika EMMT-AS	
Zastosowania	Przemieszczenia punkt do punktu oraz interpolacja
Moc nominalna	Zasilanie jednofazowe 230 V: 0,35/0,7 kW Zasilanie trójfazowe 400 V: 0,8/1,2/2,5 kW
Nominalny moment	1,4 Nm/3,9 Nm/9,8 Nm
Komunikacja	EtherCAT, PROFINET, EtherNet/IP, Modbus
Funkcje bezpieczeństwa	STO, SS1, SBC, (SS2, SOS, SLS, SSR)*
Interfejs enkodera	ENDAT2.1/2.2 (rozwiązanie jednokablowe), HIPERFACE, Nikon A/B- oraz SIN/COS, przyrostowy
Filtr sieciowy	Zintegrowany
Możliwość łączenia pośrednich obwodów mocy	Tak
Dobór sprzętowy / Parametryzacja Programowanie	Positioning Drives / Festo Automation Suite (z kreatorem uruchomienia), Autotuning / CODESYS
Złącze silnika	Rozwiązanie jednokablowe (OCP) silnika EMMT-AS z obrotową wtyczką (regulowany kąt 310°) Maks. długość kabla 50 m (100 m ze zoptymalizowaną ochroną przed zakłóceniami)
Opcje silnika	Enkoder jednoobrotowy lub wieloobrotowy, hamulec, wpust na wale, uszczelnienie wałka

* w przygotowaniu

nie wymaga specjalistycznej wiedzy na temat jego obsługi. Kompletny system napędowy obejmuje doskonale zintegrowane komponenty: sterownik działający w pętli zamkniętej, silnik i system mechaniczny.

Warunek wstępny: protokoły oparte na EtherNet, np. PROFINET, PROFIBUS, EtherNet/IP, EtherCAT® lub Modbus. Dostępne są bloki funkcjonalne dla różnych producentów, np. Festo, Siemens, Rockwell, Beckhoff oraz Omron.

Silnik serwo EMMT-AS

Synchroniczny silnik serwo prądu przemiennego EMMT-AS do wymagających zastosowań o dużej dynamice pracy charakteryzuje się wyjątkowo niskim momentem bezwładności. Zapewnia to szybką reakcję i wysoką dokładność w zadaniach pozycjonowania. „Elektroniczna tabliczka znamionowa" zawiera wszystkie ważne dane silnika. Napęd serwo CMMT-AS może odczytywać dane z tabliczki znamionowej i automatycznie ustawić parametry dla danego silnika serwo. Dzięki temu uruchomienie jest proste i całkowicie niezawodne.

- Trzy wielkości 60/80/100 o mocy do 2,6 kW/9,8 Nm.
- Enkoder absolutny jednoobrotowy lub wieloobrotowy.
- Z lub bez hamulca.
- Stopień ochrony IP67: dla całej obudowy i techniki przyłączeniowej (w tym wtyczki).
- Stopień ochrony IP40: dla wałka, opcjonalnie IP65 z pierścieniem uszczelniającym.
- Zintegrowany w silniku czujnik temperatury, odporność na zakłócenia i cyfrowa transmisja za pomocą protokołu enkodera.
- Gładka, lakierowana powierzchnia odporna na zabrudzenia i łatwa do czyszczenia.

Oszczędność przestrzeni zabudowy: rozwiązanie jednokablowe silnika EMMT-AS

Rozwiązanie jednokablowe (OCP) oszczędza przestrzeń zabudowy i znacznie zmniejsza nakład pracy przy montażu. Silnik serwo jest podłączony do zasilania, sygnałów enkodera i hamulca tylko jednym kablem. Upraszcza to okablowanie i wymianę.

- Rozwiązanie jednokablowe może przesyłać dużą moc elektryczną.
- Wytrzymałe i trwałe rozwiązanie dla zastosowań o dużej dynamice pracy, np. do aplikacji robotycznych.
- Długie kable powyżej 50 m.
- Długości kabli do 100 m z ulepszoną ochroną przed zakłóceniami. ■

www.festo.com/cmmt-as
www.festo.com/emmt-as

FESTO Sp. z o.o.
ul. Mszczonowska 7
05-090 Raszyn
tel. 22-711 41 00
fax 22-711 41 02
e-mail: festo_poland@festo.com
www.festo.pl

Grupa Cantoni na Targach Hannover Messe 2019

W dniach 1–5 kwietnia 2019 roku odbyły się największe na świecie targi sektora przemysłowego – Hannover Messe. Organizowane już od roku 1947, targi w Hanowerze skupiają producentów technologii istotnych w procesie przemysłowej transformacji i rozwoju. To ogromne wydarzenie przyciąga około 6500 wystawców oraz ponad 220 000 zwiedzających z całego świata.

Od ponad 20 lat Grupa Cantoni jest regularnym uczestnikiem Targów Hannover Messe, natomiast polskie silniki elektryczne, obecnie produkowane i sprzedawane przez Grupę Cantoni w kraju i na całym świecie, były prezentowane na Targach już od pierwszych lat ich istnienia.

Grupa Cantoni jest wiodącym w kraju i na świecie producentem silników elektrycznych i systemów napędowych w zakresie mocy od 0,04 kW do 6000 kW, hamulców do silników oraz narzędzi (w tym skrawających).

Produkcja silników jest realizowana w zakładach:
- **Besel S.A.** – rok założenia 1950 r.;
- **Celma Indukta S.A.** – rok założenia 1878 r. i 1920 r.;
- **Emit S.A.** – rok założenia 1921 r.

Hamulce produkowane są w firmie Ema-Elfa Sp. z o.o. – rok założenia 1954 r., natomiast narzędzia skrawające w firmie Fenes S.A. Spółki Fana Narzędzia Sp. z o.o., Besel Formit Sp. z o.o., Narmod Sp. z o.o. produkują komponenty i narzędzia używane w produkcji.

Oferta Grupy Cantoni obejmuje silniki jednofazowe i trójfazowe ogólnego przeznaczenia, w klasach sprawności IE4, IE3, IE2, IE1, jak również silniki do specjalnych zastosowań lub przeznaczone do pracy w szczególnych warunkach. Należą do nich silniki przeciwwybuchowe, trakcyjne, do pomp, dla przemysłu chemicznego i maszynowego, do pracy na statkach, w kopalniach i w elektrowniach oraz silniki do wielu innych aplikacji w różnych gałęziach przemysłu. Oferujemy silniki zaprojektowane i wykonane na indywidualne zamówienie klienta. Nasze silniki spełniają normy krajowe i międzynarodowe.

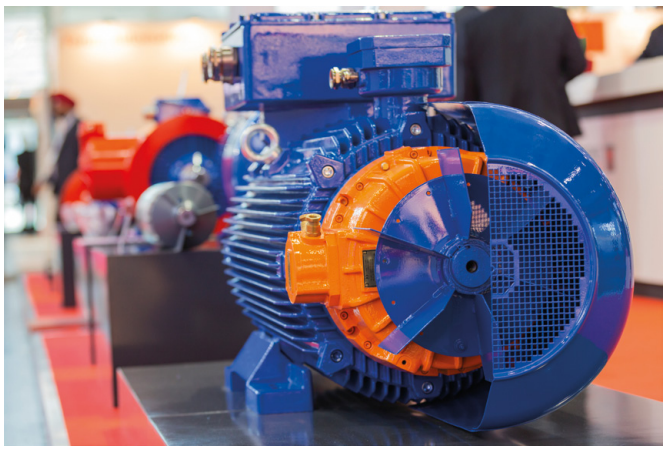
Hamulce produkcji firmy Ema-Elfa Sp. z o.o.

Stoisko Grupy Cantoni na Targach Hannover Messe 2019

Jak co roku, Grupa Cantoni prezentowała szereg produktów, które cieszyły się ogromnym zainteresowaniem zwiedzających. Na stoisku można było zobaczyć różne typy oferowanych napędów, jak również porozmawiać na ich temat z naszymi inżynierami i handlowcami. Takie rozmowy dały możliwość wyjaśnienia wielu technicznych kwestii, które nurtowały zwiedzających.

Prezentowane produkty to m.in.: silnik klasy sprawności IE3 z podwójnym obcym chłodzeniem oraz podwójnym wałkiem, silnik klasy sprawności IE4 bez magnesów trwałych, silnik trakcyjny, silniki przeciwwybuchowe, do pomp, do pralek, do myjni samochodowych, do pracy w oleju hydraulicznym, silniki NEMA Premium, silniki hamulcowe i inne.

Targi Hannover Messe były okazją do przedstawienia nowej serii silników ognioszczelnych (E)cSTe sprawności IE3 produkcji firmy Celma Indukta S.A. Zarówno silnik EcSTe315M4B-IE3-H z hamulcem elektromagnetycznym typu HEX (hamulec produkcji firmy Ema-Elfa Sp. z o.o.), jak również silnik cSTe250M8-IE3 wzbudziły szczególne zainteresowanie zwiedzających.



Silnik ognioszczelny typu EcSTe315M4B-IE3-H produkcji firmy Celma Indukta S.A. z hamulcem elektromagnetycznym typu HEX produkcji firmy Ema-Elfa Sp. z o.o.

Techniczna charakterystyka nowej serii silników ognioszczelnych (E)cSTe80...315-(IE2,IE3)

Silnik typu cSTe250M..-IE3 (IIC), po zakończeniu badań cieplnych i elektrycznych w akredytowanym przez CSA laboratorium zakładowym CELMA INDUKTA SA, został poddany badaniom wybuchowym w zewnętrznym laboratorium jednostki notyfikowanej (KDB). Badania zostały przeprowadzone wg najnowszych wymagań ATEX i zakończyły się wynikiem pozytywnym.

Główne cechy silników nowej serii (E)cSTe80...315-(IE2, IE3) to:

- kompletnie nowa konstrukcja dostępna w klasie sprawności IE2 lub IE3;
- cały zakres dostępny z dopuszczeniem dla grupy IIC;
- oddzielna/dodatkowa skrzynka zaciskowa dla czujników temperatury lub wyposażenia dodatkowego (wielkości 160–315);
- opcjonalne wykonanie z 6 izolatorami z możliwością połączenia uzwojeń w trójkąt (Δ) lub w gwiazdę(Y);
- klasa izolacji: F/B;
- stopień ochrony: IP55;
- zoptymalizowany układ chłodzenia (obniżona głośność, ograniczone straty mechaniczne).

Aktualnie przygotowywane są do badań prototypy kolejnych wielkości silników nowej serii (280, 225, 200 i 180).

Poza silnikami na stoisku można było zobaczyć hamulce elektromagnetyczne i proszkowe oraz zwalniaki elektrohydrauliczne.

Od dziesięcioleci Grupa Cantoni spełnia oczekiwania swoich klientów, wdrażając nowe technologie, poprawiając jakość produktów i rozwijając procesy inżynierskie, dlatego tak duże zainteresowanie produktami marki Cantoni na Targach znów potwierdziło ich ogromną wartość rynkową i wysoką jakość.

Zapraszamy na Hannover Messe 2020.

CANTONI MOTOR SA
motor@cantonigroup.com
www.cantonigroup.com

reklama

Cantoni® GROUP

DRIVING YOUR BUSINESS

SILNIKI ELEKTRYCZNE
I SYSTEMY NAPĘDOWE
OD 0,04 KW DO 6000 KW

BESEL · CELMA indukta · EMIT · ELFA

www.cantonigroup.com

Targi Transportu Publicznego SilesiaKOMUNIKACJA oraz Targi Transportu i Spedycji TRANSPORTEX za nami!

Już po raz 11. w Expo Silesia w Sosnowcu odbyły się targi poświęcone tematyce transportu publicznego SilesiaKOMUNIKACJA. Tematem przewodnim tegorocznej edycji była elektromobilność i gazomobilność w transporcie pasażerskim. W Targach wzięło udział ponad 80 firm, a przez dwa dni wystawę odwiedziło blisko 1600 osób.

Podczas Targów odbyły się dwie premiery nowych pojazdów, które wejdą na rynek w tym roku. Firma Rafako pokazała pierwszy w kraju mały autobus z baterią pod podwoziem Rafako E-Bus. To całkowicie polski projekt, powstały w trosce o czystość powietrza i redukcję hałasu z otoczenia. Firma MMI natomiast zaprezentowała Autobus Urby CNG, czyli nową odsłonę znanego i lubianego autobusu klasy MINI.

Targom towarzyszyła konferencja pt. „Transport niskoemisyjny w Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii – infrastruktura na rzecz elektromobilności" oraz debata „Gazomobilność – alternatywne spojrzenie na transport niskoemisyjny", oba wydarzenia zostały zorganizowane pod Patronatem Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii oraz Izby Gospodarczej Komunikacji Miejskiej. Głównym celem konferencji, w której uczestniczyło ponad 120 osób, było zaprezentowanie i omówienie planów rozwoju transportu niskoemisyjnego na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii, budowy infrastruktury niezbędnej do wprowadzenia i rozwoju elektromobilności, rozwoju rynku baterii oraz nowych technologii stosowanych przez producentów autobusów. Zwieńczeniem tego wydarzenua była debata „Gazomobilność – alternatywne spojrzenie na transport niskoemisyjny", mająca na celu promocję paliw alternatywnych, w tym m.in. gazu, i korzyści wynikających z ich stosowania w transporcie publicznym. Do dyskusji zaproszeni zostali uznani eksperci z zakresu transportu publicznego reprezentujący administrację samorządową, przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej, a także czołowi producenci autobusów i dostawcy infrastruktury.

W ramach wystawy zaprezentowanych zostało kilkanaście autobusów niskoemisyjnych, w tym m.in. pojazdy elektryczne, gazowe i hybrydowe. Na stoisku firmy Solaris został pokazany Urbino 12 hybrid w nowym designie. MAN zaprezentował z kolei autobus miejski MAN Lion's City nowej generacji, którego seryjna produkcja ruszy w październiku bieżącego roku w Starachowicach. Oprócz autobusu firma spod znaku lwa zaprezentowała nowego MAN TGE City 6.180, a także samochód dostawczy MAN eTGE 3.140 z napędem elektrycznym w wersji furgon. Premierowo na Targach pojawiła się firma VBI, dystrybutor marki ISUZU, która pokazała model Novocity Life. ProAuto na Targach zaprezentowało turystyczną zabudowę autobusową w konfiguracji 22+1+1, wykonaną na nowym modelu Mercedesa Sprintera 519 CDI. Mercus pokazał w tym roku dwa podmiejskie zabudowane autobusy. Automet przywiózł do Sosnowca klasę MiniCity na zabudowie Sprintera. W dniu 16 kwietnia firma EVOBUS zorganizowała przejazdy testowe najnowszym modelem autobusu eCitaro, który już ruszył w trasę po polskich miastach. Nie zabrakło również przedstawicieli innych branż. Firma MEDCOM, BMZ czy Drabpol pokazały swoje produkty wspierające elektromobilność. Pixel, SiMS, SE-MA i YAHAM przedstawiły swoje nowe modele wyświetlaczy przystankowych oraz autobusowych, z kolei Damiro zaprezentowała najnowsze modele siedzeń, a PlanBus oprogramowanie IT wspierające przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej.

Na Targach można było też spotkać firmy, które sprzedają swoje produkty do warsztatów w zajezdniach. Normfest pokazał gamę profesjonalnych narzędzi, firma Alupart najnowsze alufelgi do autobusów, a firma Ekologiczneauto.pl zaprezentowała produkty, dzięki którym autobusy i busy mogą być bardziej ekologiczne.

Równolegle miały miejsce Targi Transportu i Spedycji TRANSPORTEX – wydarzenie utrzymane w formule B2B, które dało możliwość spotkania właścicieli firm transportowych, przewoźników, spedytorów oraz menedżerów transportu drogowego z firm logistycznych, produkcyjnych i dystrybucyjnych.

Targom TRANSPORTEX towarzyszyła konferencja pt. „Zmiany w transporcie – 2019", zorganizowana we współpracy z Kancelarią Transportową KOBEN. Podczas konferencji można było poznać aktualne zmiany w prawie transportowym dotyczące transportu drogowego w szerokim tego słowa znaczeniu, a także podyskutować z uczestnikami i prelegentami. Służby kontrolne odpowiadały na nurtujące pytania. Przy stoiskach eksperckich można było uzyskać bezpłatne porady od specjalistów praktyków, którzy pomagali w problematycznych kwestiach związanych z transportem drogowym i prowadzeniem firmy transportowej czy spedycyjnej.

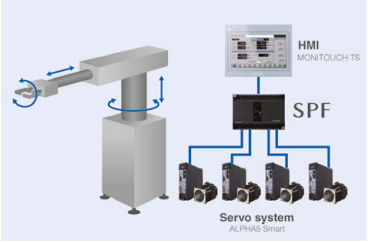
W drugim dniu Targów TRANSPORTEX odbyła się Konferencja Polskiej Unii Transportu, na której zostały poruszone tematy najnowszych przepisów i związanych z nimi zagrożeń dla kierowców oraz właścicieli i zarządzających firmami transportowymi. Konferencji towarzyszyła strefa bezpośrednich korzyści dla przedsiębiorców zorganizowana dzięki współpracy z Polską Unią Transportu.

MICREX-SX – seria sterowników PLC firmy Fuji Electric

Japońska firma Fuji Electric, znana z jakości wykonania swoich produktów, wprowadza na rynek europejski własną linię sterowników programowalnych. Seria MICREX-SX składa się z dwóch wersji: SPF i SPH. Pierwsza to kompaktowe PLC przeznaczone do prostszych aplikacji. SPH to rozbudowana seria modułowych sterowników, umożliwiająca kontrolę dużych systemów.

Urządzenia z serii MICREX-SX SPF mają imponującą wydajność przetwarzania kolejnych sekwencji, co wyróżnia je na tle konkurencyjnych produktów. Podstawowe instrukcje wykonywane są z prędkością 0,3 µs, natomiast instrukcje przetwarzania danych – 0,87 µs. Dodatkowym zwiększeniem funkcjonalności jest ilość pamięci urządzenia, widoczna w tabeli poniżej. Każda jednostka SPF dostępna jest w 2 wariantach: podstawowym i z precyzyjną obsługą serwonapędów. Funkcja pozycjonowania zapewnia obsługę do 4 osi (4 serwonapędów) przy pomocy wyjść impulsowych o częstotliwości pracy 200 kHz. Pozwala to m.in. na kontrolę ramienia robota przy liniach produkcyjnych. Możliwości PLC rozbudowane są o współpracę z tensometrycznym czujnikiem obciążenia, co często wykorzystywane jest w cementowniach i innych aplikacjach, gdzie kluczową rolę odgrywa pomiar wagi. Aby ułatwić monitoring urządzeń kontrolowanych i uzyskać dokładniejsze dane dotyczące produkcji, wszystkie urządzenia SPF są zaopatrzone w wewnętrzną funkcję kalendarza.

Model	Pojemność pamięci	
	Program	Dane
14p	8 K kroków	20 K słów
24p		
32p	20 K kroków	40 K słów
40p		
60p		



Seria SPH gwarantuje obsługę najbardziej wymagających aplikacji dzięki dużej pamięci programu na poziomie 256 K kroków i 65 536 punktów. W przeciwieństwie do wcześniej omawianej serii SPF, sterowniki SPH mają budowę modułową, która pozwala na wspólną pracę do 8 jednostek CPU. Możliwe jest uzyskanie czasu odświeżania wejść/wyjść i czasu skanowania na poziomie 1 ms. Urządzenia zapewniają komunikację z sieciami Ethernet, LonWorks, DeviceNet, PROFIBUS-DP, AS-i oraz innymi popularnymi i otwartymi standardami. W związku z coraz częstszym zapotrzebowaniem na bezawaryjną pracę aplikacji, architektura pozwala na budowę redundantnych systemów (cold/hot stand-by) CPU oraz zasilania. Dodatkowym plusem jest obsługa nowego protokołu E-SX bus, który zapewnia najwyższe standardy prędkości transferu i synchronizacji danych.

Obie serie programowane są za pomocą narzędzia SX-Programmer w dwóch możliwych wersjach: Expert i Standard. Wersje różnią się ilością obsługiwanych języków programowania. Podczas gdy wersja Standard udostępnia głównie możliwości języka drabinkowego, wersja Expert jest w pełni kompatybilna ze standardem IEC 61131-3 (obsługa wszystkich języków programowania PLC). Produkty PLC Fuji Electric są kompatybilne z zewnętrznymi systemami SCADA. ■

www.amtek.pl

reklama

Systemy sterowania Fuji Electric

- panele operatorskie HMI
- sterowniki PLC
- przetwornice częstotliwości
- aparatura pomiarowa
- programowanie i integracja

amtek

www.amtek.pl / amtek@amtek.pl
tel. 22 866 41 40 / fax 22 866 41 41

Firma Emerson zwiększa funkcjonalność zaworów proporcjonalnych dzięki interfejsowi do komunikacji cyfrowej na potrzeby integracji z rozwiązaniami zgodnymi z koncepcją Przemysłu 4.0 oraz IIoT

Interfejs IO-Link® w zaworach proporcjonalnych ASCO Numatics™ Sentronic Plus oraz Sentronic LP zwiększa niezawodność i jednocześnie skraca czas konserwacji układów.

Firma Emerson ogłosiła wprowadzenie do swojej oferty zawory proporcojnalne do regulacji ciśnienia marki ASCO Numatics™ Sentronic Plus (seria 614) oraz Sentronic LP (seria 617) wyposażone w interfejs IO-Link®. Zawory proporcjonalne Sentronic wyposażone w interfejs IO-Link® mają na celu zapewnienie klientom ekonomicznego i niezawodnego sterowania oraz łatwej diagnostyki. Interfejs IO-Link® zawarty w tych urządzeniach wspiera przyszłą implementację aplikacji zgodnych z koncepcją Przemysłu 4.0 oraz Przemysłowego Internetu Rzeczy (IIoT), które przyczynią się do większej niezawodności, dyspozycyjności i rentowności zakładu.

Wszechstronne zawory Sentronic Plus oraz Sentronic LP umożliwiają optymalizację procesu bez względu na wymagania aplikacyjne. Sterowane cyfrowo zawory regulacyjne Sentronic Plus pozwalają na precyzyjną regulację ciśnienia, natężenia przepływu, siły, prędkości, a także położenia liniowego i kątowego. Zawory umożliwiają regulację ciśnienia do 12 barów (174 psi) i spełniają wymagania odnośnie do kompatybilności elektromagnetycznej według Dyrektywy Kompatybilności Elektromagnetycznej (EMC) 2014/30/UE. Zawory Sentronic LP o niskiej mocy (LP od ang. *Low Power*) to bardzo wydajna opcja dedykowana do zastosowań wymagających regulacji ciśnienia, o niskich wymaganiach w zakresie ograniczonej przestrzeni montażowej, łatwej obsłudze i modułowej konstrukcji oraz o zaawansowanych funkcjach oprogramowania. Charakterystyczne dla tych zaworów niskie zużycie mocy elektrycznej na poziomie poniżej 4 W ułatwia zastosowanie ich w warunkach ograniczonej mocy zasilania.

Komunikacja IO-Link® jest coraz częściej wykorzystywana w automatyce przemysłowej, gdzie stanowi ekonomiczny interfejs do komunikacji cyfrowej z czujnikami, napędami i sterownikami, realizowanej przy pomocy kabli połączeniowych M12 I/O. Aby ograniczyć czas i złożoność czynności obsługowych, moduł IO-Link® pozwala na samoczynną identyfikację i konfigurację zaworów Sentronic w przypadku wymiany elementu, eliminując przy tym konieczność ponownej konfiguracji przy pomocy komputera. Zawory Sentronic marki ASCO Numatics™

wyposażone w technologię IO-Link®, stanowią unikalne rozwiązanie umożliwiające zmianę parametrów urządzenia bezpośrednio z poziomu sterownika PLC w trakcie trwania procesu bez konieczności wykorzystania oprogramowania do gromadzenia danych.

– Firma Emerson jest czołowym innowatorem stymulującym rozwój technologii IIoT oraz strategii ułatwiających cyfrową transformację operacji realizowanych przez naszych klientów w szerokim spektrum branż oraz gałęzi przemysłu – powiedział Harald Steinle, Engineering Manager ds. projektowania zaworów proporcjonalnych w Emerson Automation Solutions. – Dodanie interfejsu komunikacji IO-Link® do zaworów Sentronic Plus oraz Sentronic LP stwarza wiele korzyści dla użytkowników. Rozwiązanie to nie tylko ułatwia sterowanie i obsługę urządzeń, ale również przygotowuje je do przyszłej integracji z aplikacjami IIoT, umożliwiając poprawę niezawodności i dyspozycyjności zakładu.

Mając na celu zwiększenie elastyczności oferty, nowy interfejs IO-Link® jest kompatybilny z całym asortymentem zaworów Sentronic LP serii 617 oraz Sentronic Plus serii 614 dostępnych w rozmiarach DN3 i DN6. Oferowane przez firmę Emerson zawory proporcjonalne umożliwiają optymalizację procesów w takich zastosowaniach, jak maszyny do napełniania wykorzystywane w przemyśle spożywczym i kosmetycznym, maszyny do linii montażowych, podajniki oraz ramiona robotów itp. Więcej informacji znaleźć można pod adresem: **www.asconumatics.eu/pl/technologia-proporcjonalna.** ■

Emerson Automation Solutions
ASCO Numatics Sp. z o.o.
ul. Szturmowa 2 A
02-678 Warszawa
tel. 22-458 92 88
e-mail: Biuro@Emerson.com
www.asconumatics.pl

reklama

Potrzebuję czegoś więcej niż tylko produktów; potrzebuję prawdziwego partnera biznesowego. Potrzebujemy relacji i usług, które poprawią wydajność naszego zakładu teraz i w przyszłości.

Podejmowanie decyzji staje się łatwiejsze dzięki doświadczeniu firmy Emerson.

Oferowane przez firmę Emerson produkty wykorzystują branżową wiedzę i rozwiązania w celu sprostania Twoim biznesowym wyzwaniom dziś i jutro. Nasze wzmocnione portfolio marek - ASCO™, AVENTICS™, TESCOM™ i TopWorx™ - dostarcza wiodące oraz kompleksowe produkty i rozwiązania dedykowane do sterowania przepływem mediów i pneumatyki. Na coraz bardziej konkurencyjnych rynkach inteligentne technologie oraz zaufani partnerzy biznesowi odgrywają kluczową rolę dla osiągnięcia Twojego sukcesu. Znajdź produkty, rozwiązania oraz usługi, które mogą pomóc Ci w rozwoju Twojej firmy.

Skontaktuj się z naszymi ekspertami z zakresu sterowania przepływem mediów oraz pneumatyki, którzy doskonale znają Twoją branżę i aplikacje. Odwiedź Emerson.com/fluid-control-pneumatics lub napisz do nas: Biuro@Emerson.com, aby skontaktować się z jednym z naszych doradców technicznych.

EMERSON

Logo Emerson jest znakiem towarowym i usługowym firmy Emerson Electric Co. © 2019 Emerson Electric Co.

CONSIDER IT SOLVED™

Krótki serwomotor BLDC o średnicy 16 mm

Kompaktowa siła napędowa dla wymagających zastosowań

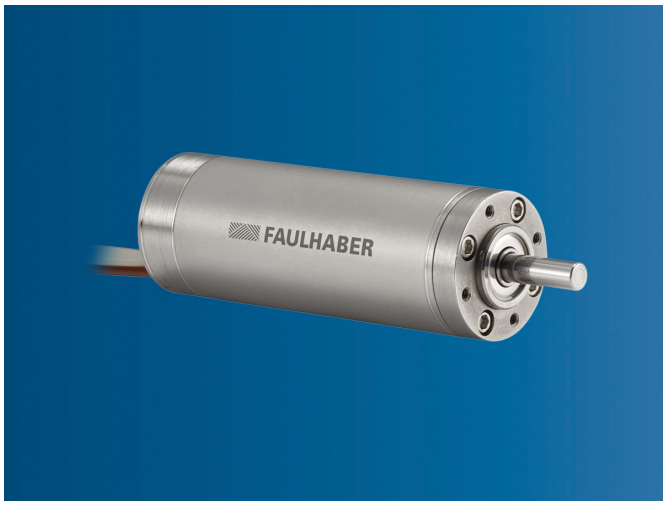
1645 ... BHS – ten bezszczotkowy serwomotor DC od FAULHABER ustanawia poprzeczkę w swojej klasie w postaci ekstremalnie krótkiego czasu reakcji, dużej prędkości oraz dużego dopuszczalnego obciążenia promieniowego. Odnosząca sukcesy seria BHx o średnicy 16 mm zyskała ulepszenie w postaci swej bardziej kompaktowej wersji o długości zaledwie 45 mm. Podobnie jak pozostałe produkty tej gamy ten niezwykle mocny napęd BLDC charakteryzuje się także niskim poziomem drgań i wytwarzania ciepła. Tym samym jest idealny dla zastosowań wymagających sporej mocy w ograniczonej przestrzeni.

Seria BHx obejmuje bezluzowe, bezszczotkowe silniki o dużej wydajności, wykonane w technologii dwubiegunowej, o średnicy 16 mm. Przy 100 000 obr./min nowa wersja serii 1645 … BHS osiąga znacząco wyższą prędkość w porównaniu do znajdujących się na rynku silników o podobnych rozmiarach. Uzyskuje ona także najwyższe wartości przy maksymalnym obciążeniu promieniowym (18 N), gęstości mocy (58,5 W) i momencie obrotowym (8 mNm). W połączeniu z dopasowaną przekładnią planetarną silnik może generować bardzo wysoki moment obrotowy rzędu 800 nNm przy zaledwie 12 000 obr./min.

Seria 1645 … BHS oferuje znacznie więcej korzyści. Dzięki 90% wydajności oraz minimalnemu wytwarzaniu ciepła i drgań silnik jest niezwykle energooszczędny. Bardzo niska stała mechaniczna czasu uruchomienia oraz małe wartości bezwładności wirnika, a także bardzo duże przyspieszenie kątowe pozwalają na uzyskanie niezwykle krótkiego czasu reakcji. Dodatkowo dzięki płaskiemu spadkowi krzywej charakterystyki n/M (429 rpm/mNm) silnik osiąga zdolność do optymalnej pracy, co przekłada się na precyzyjne czasowo dostosowanie się do zmiennych wymogów wydajności.

Napęd posiada wbudowane czujniki cyfrowe Halla. Opcjonalnie dostępny jest wbudowany enkoder przyrostowy. Dla różnych zastosowań dobierać można komponenty spośród szerokiej gamy opcjonalnych akcesoriów, od sterowników prędkości i ruchu po elementy sterowania i przekładnie. Wytrzymała i kompaktowa budowa silnika oraz jego wyjątkowe parametry eksploatacyjne sprawiają, że produkt ten jest idealny dla wymagających i przestrzennie ograniczonych zastosowań. Napęd ten stosowany jest w chwytakach elektrycznych, niewielkich końcówkach narzędziowych, systemach robotów, automatyce przemysłowej oraz we wszelkiego rodzaju aparaturze mechatronicznej.

„Więksi bracia" 1645 … BHS – czyli serie 1660 … BHS i BHT – mają zastowanie w przypadku większej przestrzeni instalacyjnej.



Krótki serwomotor BLDC o średnicy 16 mm

Serie te także oferują najwyższej klasy parametry eksploatacyjne dla produktów w swojej klasie. Wersje są zoptymalizowane do pracy z dużą prędkością (BHS) oraz dużym momentem obrotowym (BHT). ■

FAULHABER

FAULHABER Polska Sp. z o.o.
ul. Górki 7
60-204 Poznań
tel. 61-278 72 53
fax 61-278 72 54
e-mail: info@faulhaber.pl
www.faulhaber.com

Miernik programowalny z bargrafem – LIN-260

Miernik LIN-260 jest uniwersalnym, precyzyjnym przyrządem tablicowym, znajdującym zastosowanie w automatyce i pomiarach przemysłowych. Wyróżnia go wielokolorowy bargraf ułatwiający szybką ocenę poziomu mierzonego parametru. Taka wizualizacja poziomu sygnału jest bardzo przydatna np. przy pomiarze poziomu cieczy. Z myślą o takim zastosowaniu LIN-260 ma specjalną funkcję naprzemiennego sterowania wyjściami, która zapewnia równomierne rozłożenie czasu pracy pomp. Poza tym odczyt miernika można skalować nieliniowo, z 16-punktową aproksymacją, dzięki czemu można go użyć do pomiaru napełnienia zbiorników, w których objętość cieczy nie zmienia się wprost proporcjonalnie do mierzonego poziomu. Inne funkcje programowe miernika pozwalają ustawiać zaokrąglanie odczytu, filtrację sygnału, skalowanie odczytu, funkcję działania wyjść sterujących oraz parametry transmisji szeregowej i retransmisji sygnału analogowego. Miernik dostarczany jest w dwóch wersjach zasilania: 24 V DC i 230 V AC, z dwoma lub czterema wyjściami przekaźnikowymi. Dodatkowe opcje to wyjście analogowe i port szeregowy RS485 z protokołem Modbus RTU. LIN-260 ma zabezpieczenia przepięciowe i pełną izolację galwaniczną obwodów pomiarowych i sterujących. Spełnia podwyższone normy odporności na zakłócenia elektromagnetyczne, dzięki czemu pracuje stabilnie nawet w bardzo trudnych warunkach przemysłowych. ■

Producent: **SEM**
www.sem.pl

reklama

WYDARZENIA

● **Autonomiczny robot wewnątrz ludzkiego ciała**

Grupa bioinżynierów opracowała autonomicznego robota medycznego, który może przedostać się do wypełnionego krwią serca pacjenta. Badanie zostało opublikowane w „Journal of Science Robotics".

Chirurdzy używają w swojej pracy maszyn obsługiwanych przez joysticki od ponad dziesięciu lat. Badacze wykazali dotychczas, że małe roboty mogą być sterowane poprzez ciało za pomocą zewnętrznych bodźców. Starszy autor nowych badań, Pierre Dupont, podkreśla, że teraz bioinżynierowie poszli krok dalej, tworząc pierwszego autonomicznego robota będącego w stanie samodzielnie trafić w pożądane miejsce w ludzkim organizmie.

Udaje mu się poruszać za pomocą optycznego czujnika dotykowego oraz na podstawie mapy anatomii serca i skanów przedoperacyjnych. Dane z czujnika obrabiane są przez algorytmy sztucznej inteligencji oraz algorytmy przetwarzania obrazu, co umożliwia ustalenie własnej pozycji w sercu i podejmowanie następnych kroków.

W ramach demonstracji zespół przeprowadził wysoce wymagającą technicznie procedurę zwaną zamknięciem przecieku aortalnego w obrębie zastawki aortalnej, której celem jest naprawa sztucznych zastawek serca, zaczynających przeciekać wzdłuż swoich krawędzi. Gdy robot w trakcie operacji dotarł do pożądanego miejsca, doświadczony kardiochirurg przejął nad nim kontrolę i zatamował niepożądany wyciek.

W powtarzanych próbach mikromaszyna z powodzeniem przemieszczała się do zastawki serca w mniej więcej tym samym czasie, co chirurg za pomocą tradycyjnych technik. Optyczny czujnik dotykowy próbkował swoje otoczenie w regularnych odstępach czasu, w taki sam sposób, w jaki robią to owady lub gryzonie za pomocą swoich wibrysów, tworząc mapy nieznanych lub zaciemnionych środowisk. Informacje przekazywane robotowi determinowały to, czy dotykał krwi, ściany serca czy zastawki, a także jak mocno na nie naciskał. Dodatkowo cechy wizualne pomagały mu interpretować dane z przedoperacyjnego obrazowania i algorytmy uczenia maszynowego.

Ponieważ Agencja ds. Żywności i Leków (FDA) rozpoczyna właśnie opracowywanie ram regulacyjnych dla urządzeń medycznych wyposażonych w sztuczną inteligencję, Dupont przewiduje, że autonomiczne roboty chirurgiczne na stałe zagoszczą na salach operacyjnych w niedalekiej przyszłości. Pozwoli to na pewnego rodzaju uniezależnienie wyników krytycznych operacji od doświadczenia przeprowadzającego je chirurga.

Źródło: deccanchronicle

Testowany przewód chainflex dla kątów skrętu do 360 stopni bezpiecznie przesyła dane do 6-osiowych robotów

Przewód Ethernet 3D firmy igus umożliwia szybką komunikację z robotem

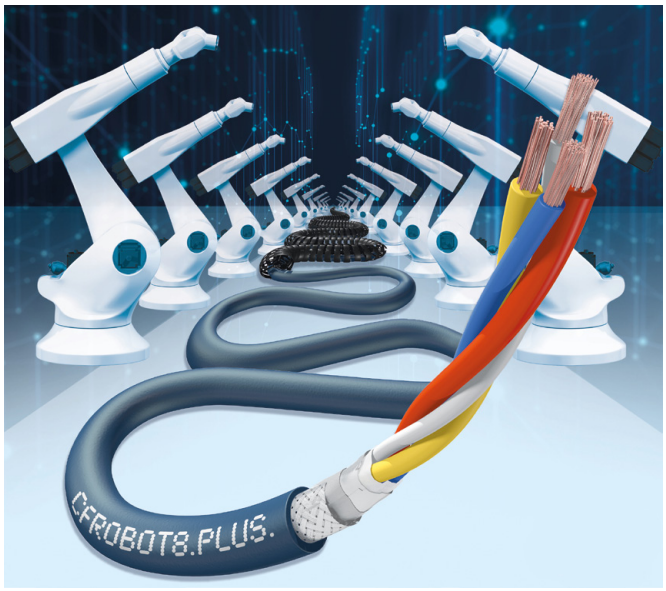
W produkcji na dużą skalę roboty przemysłowe są wszędzie. Zapewniają szybką automatyzację procesów i tym samym poprawiają ekonomiczność w firmach. Firma igus opracowała nowy, trwały przewód Ethernet, CFROBOT8.PLUS, który zapewnia bezproblemową komunikację między osiami, systemem sterowania i nadrzędnymi systemami, nawet przy ekstremalnych obciążeniach. Nowa rodzina przewodów została przetestowana pod kątem skrętu przez kilka lat w wewnętrznym laboratorium i działa bezawaryjnie przez ponad 15 milionów cykli.

Liczba robotów wykorzystywanych w produkcji szybko rośnie. Według szacunków Międzynarodowej Federacji Robotyki (IFR) na całym świecie do 2020 roku będzie działać ponad 3 miliony robotów przemysłowych, aby napędzać automatyzację produkcji. Jednocześnie rośnie również zapotrzebowanie na bezpieczną komunikację pomiędzy robotami, osiami, systemami sterowania i nadrzędnymi systemami.

– Prawdopodobieństwo, że komunikacja przyszłości będzie zdominowana przez przemysłową sieć Ethernet, jest dość wysokie – wyjaśnia Rainer Rössel, kierownik działu przewodów chainflex w firmie igus GmbH.

Z tego powodu specjalista od przewodów do ruchu od ponad pięciu lat opracowuje przewody Ethernet dla ekstremalnego obciążenia trójwymiarowego i bezpiecznej transmisji danych pomiędzy elementami robota. Na Targach SPS IPC Drives w Norymberdze firma igus przedstawiła rodzinę przewodów CFROBOT8.PLUS specjalistycznej publiczności.

– Dzięki naszemu nowemu przewodowi do robotyki staliśmy się jedynym producentem na świecie, który oferuje wytrzymały i przetestowany przewód skrętny z magazynu, z kątem skrętu do ±360 stopni, a tym samym wypełnia lukę na rynku – mówi Rössel.



Przewód Ethernet chainflex CFROBOT8.PLUS dla 15 milionów ruchów skrętnych do 360 stopni i szybkiej transmisji danych do robotów 6-osiowych (Źródło: igus Sp. z o.o.)

Przewody skrętne przetestowane i z gwarancją

CFROBOT8.PLUS został przetestowany pod kątem skrętu w naszym wewnętrznym laboratorium badawczym o powierzchni 2750 metrów kwadratowych – w serii e-prowadników igus triflex do ruchów trójwymiarowych – przez ponad 15 milionów cykli. W rezultacie elektryczne cechy komunikacji Ethernet działają bezbłędnie. Seria testów wciąż trwa, aby określić oczekiwaną maksymalną żywotność. Jednak spodziewamy się ostatecznych wyników za kilka lat. Dzieje się tak, ponieważ firma igus opracowuje i testuje przewody od ponad 30 lat w największym laboratorium w branży, a przewody te są specjalnie zaprojektowane do stosowania w e-prowadnikach. Dzięki ponad 2 miliardom cykli testowych i ponad 1,4 miliona testów elektrycznych rocznie igus jest uważany za numer 1 dla przewodów do ruchu w e-prowadnikach. Firma igus jest jedynym producentem na świecie, który oferuje 36-miesięczną gwarancję na kompletny asortyment przewodów chainflex, w tym nowy CFROBOT8.PLUS. ■

igus Sp. z o.o.
ul. Działkowa 121 C
02-234 Warszawa
tel. 22-316 36 30
e-mail: kkozlowski@igus.pl
www.igus.pl

WYDARZENIA

● **Bezpieczne prowadzenie przewodów na robocie dzięki ekonomicznemu systemowi odciągu igus**

Spawanie, nitowanie, lutowanie: roboty przemysłowe muszą pracować dynamicznie i szybko podczas produkcji. W związku z tym wymagane jest bezpieczne i kompaktowe prowadzenie przewodów i węży. W tym miejscu stosowane są trójwymiarowe e-prowadniki triflex firmy igus. Jeśli e-prowadniki tworzą pętle w obszarze roboczym robota, może to uszkodzić przewody i węże, a także doprowadzić do awarii maszyny. Z tego powodu firma igus opracowała nowy, ekonomiczny system odciągu TR.RSEL. System prowadzi e-prowadnik wzdłuż ramienia robota, zapewniając bezproblemowe i niezawodne działanie.

Roboty przemysłowe do montażu części samochodowych w przemyśle motoryzacyjnym pracują często z bardzo dynamicznymi ruchami na maksymalnym możliwym zakresie. Użytkownicy wybierają e-prowadniki, aby zapewnić bezpieczne prowadzenie przewodów do transmisji danych, pneumatycznych i zasilających na robocie. e-prowadniki triflex R firmy igus są bardzo użyteczne, ponieważ zostały specjalnie zaprojektowane do branży robotycznej i dostosowują się do trójwymiarowych ruchów robotów. Jednak, wraz z rosnącą różnorodnością zautomatyzowanej technologii produkcji, konieczne jest prowadzenie nie tylko przewodów elektrycznych i pneumatycznych, ale także węży do śrub, nitów i wkrętów. Ponieważ węże te nie mogą pracować przy niskich promieniach gięcia, system zasilania robota wymaga zastosowania mechanizmu odciągu. Z tego powodu firma igus opracowała nowy, bardzo ekonomiczny system odciągu triflex RSEL dla swoich e-prowadników. Gwarantuje on, że e-prowadnik jest utrzymywany możliwie blisko ramienia robota. System zapobiega zwisaniu prowadnika blokującemu lub wpływającemu na ruchy robota, nawet w bardzo dynamicznych zastosowaniach. Pętla spowodowana brakiem systemu mogłaby uszkodzić e-prowadnik oraz przewody i węże znajdujące się wewnątrz, prowadząc do awarii maszyny.

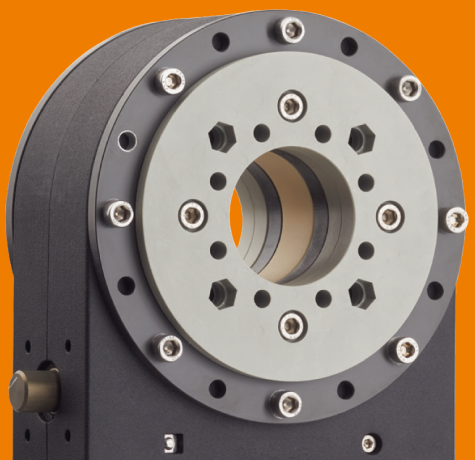
Ze względu na standardowe wymiary i bardzo kompaktową konstrukcję nowy system odciągu może być montowany bezpośrednio na trzeciej osi wszystkich typowych robotów. Oznacza to, że wszystkie istniejące serie triflex R, takie jak TRC, TRE i TRCF, można szybko i łatwo wymieniać. Stały koniec e-prowadnika może być dowolnie zamontowany poza nowym systemem. Kolejna zaleta: dzięki zastosowaniu liniowego systemu odciągu użytkownik oszczędza dodatkową długość przewodu i związane z tym koszty, ponieważ pętla e-prowadnika nie jest wymagana. Triflex RSEL jest dostępny jako wariant z dwiema linkami elastycznymi w rozmiarach 70 lub 85.

Źródło: igus

reklama

Zbuduj lub kup niskokosztowego robota robolink®

Przeguby robotyczne robolink® D
Ekonomiczna automatyzacja przy zastosowaniu lekkich i bezsmarownych przekładni ślimakowych. Dostępne zarówno jako poszczególne moduły lub w pełni kompletne ramię robotyczne z lub bez układu sterowania. Możliwość indywidualnej konfiguracji oraz symulowania ruchów ramienia za pomocą aplikacji 'robolink designer' dostępnej online.
Nowość: robolink® DCi - ramię robotyczne z 5 DOF (stopniami swobody) ze zintegrowanym układem sterowania od 27 460 pln.
www.igus.pl/robolink



Odwiedź nas:
Plastpol, Kielce – stoisko C3
Mach-Tool, Poznań, Hala 5, stoisko 91

● plastics for longer life
igus®.eu
Tel. +22 316 36 33 rsobocinski@igus.pl

Nowość: Zintegrowany układ sterowania ▸

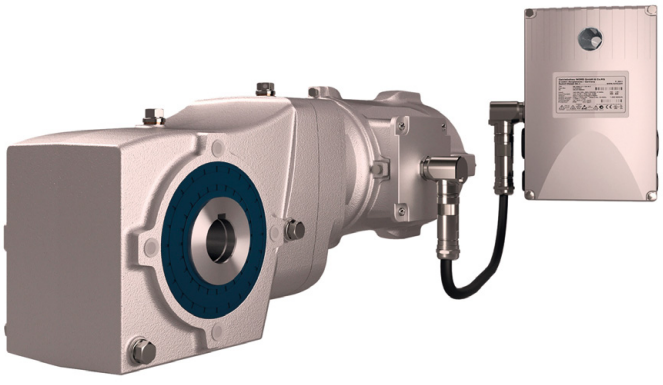
NORDAC BASE: Solidna przetwornica częstotliwości do inżynierii procesowej

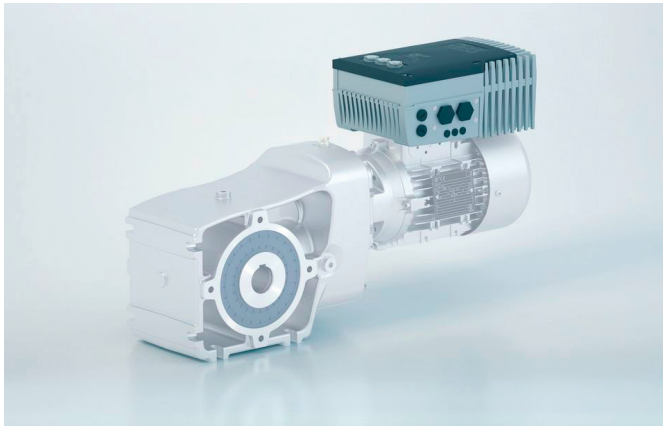
NORD DRIVESYSTEMS oferuje zgodną z ATEX, zdecentralizowaną przetwornicę częstotliwości NORDAC BASE-SK 180E, która nie tylko jest ekonomiczna w eksploatacji, ale również posiada stopień ochrony IP69K. Gwarantuje to całkowite uszczelnienie obudowy, nawet w przypadku zastosowań wymagających częstego czyszczenia pod wysokim ciśnieniem.

Wiele aplikacji nie wykorzystuje w pełni ogromnego zakresu funkcji nowoczesnych przetwornic częstotliwości. Aby wypełnić lukę między prostymi starterami silnika i w pełni wyposażonymi falownikami, NORD DRIVESYSTEMS opracował NORDAC BASE-SK 180E. Ta kompaktowa przetwornica częstotliwości koncentruje się na podstawowych funkcjach pomp i technologii przenośników (kontrola PI / prędkość, oszczędność energii, komunikacja z urządzeniami peryferyjnymi) i zapewnia znaczne oszczędności, zarówno w zakresie zakupu, jak i wydajności.

NORDAC BASE obejmuje zakresy mocy do 2,2 kW i może być montowana poza szafą sterowniczą (możliwy montaż na ścianie lub na silniku). Falownik o solidnej konstrukcji zapewnia łatwe uruchamianie i obsługę, jest elastyczny w zakresie akcesoriów i funkcji, a duża liczba interfejsów komunikacyjnych czyni go kompatybilnym ze wszystkimi powszechnie stosowanymi systemami magistrali. Sterownik napędu zapewnia precyzyjną kontrolę. IP69K zapewnia najwyższą ochronę przed wnikaniem pyłu (pyłoszczelna) i strumieniami wysokociśnieniowej wody i pary podczas czyszczenia.

SK 180E przeznaczona jest do sterowania silnikami synchronicznymi i asynchronicznymi. Energooszczędna praca jest możliwa dzięki funkcji oszczędzania energii podczas pracy





z częściowym obciążeniem: moc silnika może być dostosowywana do automatycznych zmian obciążenia. Podobnie jak wszystkie przetwornice częstotliwości NORD, NORDAC BASE ma zintegrowany sterownik PLC. Inteligentna elektronika napędowa zmniejsza obciążenie jednostki sterującej systemu wyższego poziomu i pozwala na budowę modułowej instalacji. Dane aplikacji mogą być oceniane w czasie rzeczywistym przez zdecentralizowany sterownik PLC, na przykład w celu optymalizacji urządzeń diagnostycznych.

SK 180E można zmodyfikować do pracy w środowisku wybuchowym. W zależności od obszaru zastosowania (pył przewodzący lub nieprzewodzący) modyfikacje obejmują również zastąpienie przezroczystych kapturków diagnostycznych wersją wykonaną z aluminium i szkła. Pozwala to na pracę falownika bezpośrednio w obszarze niebezpiecznym (ATEX 22-3D).

Każda instalacja wymaga w pierwszej kolejności stworzenia przejrzystego projektu. NORD dostarcza makra produktów, a także dane techniczne i elektryczne urządzeń do elektronicznych komponentów napędów w bazie danych EPLAN. Techniczne i elektryczne dane produktów, a także makra produktów dla elektronicznych komponentów napędowych NORD są teraz

dostępne w internetowym portalu danych EPLAN i mogą być wykorzystywane przez wszystkich członków portalu do pracy nad projektem. EPLAN Electric P8 to jedno z najważniejszych rozwiązań programistycznych dla projektów CAD. EPLAN P8 oferuje prawie nieograniczone możliwości w zakresie planowania projektu, dokumentacji i zarządzania projektami automatyzacji. Makra produktowe EPLAN P8 są dostępne dla rozruszników silników i przetwornic częstotliwości z serii NORD SK135E, SK180E, SK200E i SK500E, a także dla wszystkich akcesoriów do elektroniki napędowej NORD. Pod nagłówkiem *Dokumentacja oprogramowanie* na stronie internetowej NORD wszystkie obecnie dostępne makra produktów dla EPLAN P8 są również dostępne do bezpłatnego pobrania. ■

NORD Napędy Sp. z o.o.
Zakrzów 414
32-003 Podłęże
tel. 12-288 99 00
fax 12-288 99 11
e-mail: biuro@nord.com
www.nord.com

reklama

Elastyczne kompleksowe rozwiązania dla systemów transportu
NORDAC LINK

- tryb SERVO i POSICON
- tryb ręczny przełączany kluczykiem
- bezpieczeństwo Safe Stop
- wersja z przetwornicą częstotliwości lub softstartem
- praca sieciowa

Dowolna konfiguracja elementów na panelu

Wbudowany PLC

Lokalny wyłącznik serwisowy

NORD Napędy
Inteligentne systemy napędowe
tel: 12 288 99 00, biuro@nord.com, www.nord.com

RELACJA Z III KONGRESU ARMATURY PRZEMYSŁOWEJ

W dniach 9–10 kwietnia 2019 roku w Pałacu SULISŁAW k. Grodkowa odbył się zorganizowany przez Stowarzyszenie POLSKA ARMATURA PRZEMYSŁOWA III Kongres Armatury Przemysłowej. W wydarzeniu uczestniczyli przedstawiciele kilkudziesięciu firm reprezentujących producentów, dystrybutorów i użytkowników armatury przemysłowej, napędów oraz uszczelnień. W Kongresie uczestniczyli również przedstawiciele urzędów państwowych, organów nadzoru, uczelni technicznych i instytutów naukowo-technicznych.

Kongres cieszył się dużym zainteresowaniem jego uczestników. Podczas dwóch dni konferencyjnych poruszono wiele istotnych zagadnień z szerokiej dziedziny gospodarki związanej z zastosowaniem napędów oraz armatury przemysłowej i jej diagnostyką.

Kongres obejmował trzy bloki tematyczne:

- I Blok – „Energetyka krajowa w bliskiej przyszłości".
- II Blok – „Sterowanie i napędy".
- III Blok – „Armatura w eksploatacji i projektowaniu rurociągów".

W ramach każdego z bloków tematycznych prezentowanych było kilka referatów. Prelegentami Kongresu byli zarówno praktycy, jak i teoretycy, co pozwoliło spojrzeć na omawiane problemy z różnych perspektyw. Referaty wygłosili przedstawiciele i uznane autorytety z uczelni technicznych oraz instytutów naukowo-technicznych, w tym m.in: Politechniki Śląskiej i Instytutu Spawalnictwa z Gliwic, przedstawiciele Ministerstwa Energii, UDT oraz przedstawiciele sektora projektowego i automatyki sterowania.

Oprócz referatów merytorycznych zorganizowano również panele dyskusyjne w ramach I i II bloku tematycznego, które umożliwiły wymianę poglądów wszystkich uczestników. Pierwszego dnia Kongresu dyskutowano w zakresie dwóch bloków tematycznych:

- w ramach I Bloku – „Energetyka krajowa w bliskiej przyszłości" – poruszono zagadnienia związane z polityką energetyczną Polski oraz perspektywami rozwoju energetyki jądrowej jako istotnego elementu krajowego miksu energetycznego. Omówiono również wymagania przepisów dotyczących armatury dla energetyki jądrowej oraz zastosowanie metody spawania hybrydowego w energetyce;
- w ramach II Bloku – „Sterowanie i napędy" – omówiono zagadnienia związane ze sterowaniem armatury i wynikające stąd kwestie dotyczące profilowania przepływów poprzez zmienną prędkość w trybie pracy, zagadnienia dotyczące systemu bezpieczeństwa SIL oraz uwarunkowania dla armatury regulacyjnej i stacji RS w układach regulacji.

Drugiego dnia Kongresu dyskutowano w ramach III Bloku tematycznego – „Armatura w eksploatacji i projektowaniu rurociągów". Omówiono zagadnienia dotyczące diagnostyki i oceny trwałości zasuw wysokociśnieniowych pracujących w temperaturach nadkrytycznych oraz zagadnienia związane z doborem, wymaganiami i ofertowaniem armatury w czasie projektowania instalacji. Blok zakończono panelem dyskusyjnym dotyczącym oceny stanu technicznego rurociągów i armatury wysokoprężnej eksploatowanych w polskiej energetyce z udziałem przedstawicieli UDT, Energoprojektu Katowice, Chemar Armatura oraz SPAP.

Pierwszy dzień Kongresu zakończył się uroczystą kolacją, podczas której w swobodnej atmosferze uczestnicy nie tylko prowadzili dyskusje na tematy będące przedmiotem referatów, ale także nawiązywali nowe znajomości, które w przyszłości mogą zaowocować korzystną współpracą. Wieczór umiliły występy artystyczne tancerek w stylu orientalnym.

W ramach Kongresu zorganizowana była również miniwystawa, na której można było zapoznać się z profilem produkcji i działalności poszczególnych firm oraz ich ofertą produkcyjno-handlową.

III Kongres Armatury Przemysłowej to kolejne takie wydarzenie branżowe zorganizowane na tak dużą skalę przez Stowarzyszenie POLSKA ARMATURA PRZEMYSŁOWA, a organizatorzy deklarują za dwa lata jego IV edycję.

III Kongres Armatury Przemysłowej odbywał się pod patronatem honorowym Ministerstwa Energii i Urzędu Dozoru Technicznego oraz przy szerokim wsparciu czasopism i portali branżowych. ■

NOWIMEX SC – dystrybutor systemów zasilania urządzeń ruchomych oraz elementów automatyki i systemów sterowania

Firma NOWIMEX istnieje od 1990 roku. Od samego początku istnienia zajmuje się reprezentowaniem firm zagranicznych na rynku polskim. O skuteczności naszych działań niech świadczy fakt, że obroty kilku firm, które były reprezentowane przez NOWIMEX, wzrosły na tyle, że firmy te zdecydowały się otworzyć własne filie.

Obecnie głównym obszarem działalności jest doradztwo w zakresie systemów zasilania ruchomych odbiorników energii, a od 1995 roku również ich dystrybucja.

Naszą specjalnością są projekty nietypowe, wymagające dużej wiedzy technicznej z różnych dziedzin. Stale rozszerzamy krąg naszych dostawców tak, by móc rozwiązywać nawet bardzo skomplikowane problemy naszych klientów.

Krąg naszych odbiorców w całym kraju tworzą: hurtownie, zakłady przemysłowe, energetyka, biura projektów i producenci maszyn.

Stale rozbudowujemy nasz magazyn, aby móc szybko reagować w sytuacjach tego wymagających.

Personel firmy poprzez swoją fachowość i zaangażowanie zapewnia Państwu profesjonalną i miłą obsługę. Na życzenie udostępniamy dokładne informacje i dane techniczne na temat każdego oferowanego produktu.

NOWIMEX SC jest dystrybutorem systemów zasilania urządzeń ruchomych (suwnic, elektrowciągów itp.) oraz elementów automatyki i systemów sterowania. Oferujemy systemy i urządzenia następujących firm:

Stoisko NOWIMEX na Targach Automaticon 2019

- VAHLE:
  - szynoprzewody odkryte, izolowane zespolone oraz izolowane pojedyncze,
  - systemy podwieszonych przewodów okrągłych i płaskich na wózkach kablowych, przesuwanych na szynach jezdnych karniszowych i profilowych,
  - zwijaki kablowe z napędem sprężynowym i elektrycznym do pracy pionowej i poziomej,
  - przewody okrągłe i płaskie, elastyczne, również na wysokie napięcie,
  - systemy POWERCOM i SMG do cyfrowej transmisji danych, sygnałów elektrycznych i radiowych, wizji, fonii itp. do wszystkich ruchomych odbiorników;

reklama

NOWIMEX®

NOWIMEX doradza w doborze i dostarcza produkty renomowanych firm z branży automatyki i elektromechaniki przemysłowej:

VAHLE – Systemy zasilania ruchomych odbiorników prądu.
SCHLEGEL – Tablicowy osprzęt sterowniczo-sygnalizacyjny.
LEAB – Systemy zasilania pojazdów ratowniczych, pożarniczych i medycznych w prąd i sprężone powietrze.
A.M.I. – Panele sygnalizacyjne i alarmowe.
TEXELCO – Sygnalizatory świetlne i dźwiękowe.
HUGRO – Dławice do kabli.
BREVETTI – Tworzywowe i stalowe prowadniki kabli.
CATTRON – Przemysłowe systemy zdalnego sterowania radiowego.
MICRO DETECTORS – Szeroka gama czujników.
MARECHAL – Wtykowe złącza przemysłowe i dekontaktory (z wbudowaną funkcją rozłączeniową).
NORIS – Profesjonalne czujniki. Monitoring systemów automatyki.

www.**nowimex**.com.pl
info@**nowimex**.com.pl

VAHLE STROMZUFÜHRUNGEN · SCHLEGEL ELEKTROKONTAKT · LEAB mobile energy · A.M.I. · TEXELCO SAFETY TECHNOLOGY · HUGRO · brevetti stendalto · CATTRON · Micro Detectors · MARECHAL ELECTRIC · NORIS Marine automation

- SCHLEGEL:
  - przyciski i przełączniki sterownicze, lampki sygnalizacyjne, osprzęt tablicowy i zatablicowy;
- BREVETTI:
  - prowadniki i łańcuchy kablowe;
- DIELL:
  - czujniki bezdotykowe (optoelektroniczne, indukcyjne, magnetyczne, ultradźwiękowe) do automatyki przemysłowej;
- ISV:
  - wtykowe złącza przemysłowe do 600 A, do 1000 V, do 37 pól, do 185 stC, również Ex (ATEX);
- TEXELCO:
  - sygnalizatory świetlne i akustyczne, wieżyczki świetlne, żarówki LED;
- HUGRO:
  - dławice i rury osłonowe do kabli;
- SCHMERSAL:
  - wyłączniki krańcowe elektromechaniczne, czujniki bezdotykowe, elektryczny osprzęt dźwigowy;
- NORIS:
  - systemy zdalnych pomiarów temperatury, obrotów i ciśnienia, monitoring alarmów;
- ponadto – oznaczniki do przewodów i kabli PARTEX. ■

Nowimex SC
ul. Kremowa 65 A
02-969 Warszawa
tel. 22-816 85 79
fax 22-816 85 34
e-mail: info@nowimex.com.pl
www.nowimex.com.pl

WYDARZENIA

● Na początku ubiegłego roku zespół z Harvard School of Engineering and Applied Sciences (SEAS) zaprezentował inspirowanego fizjonomią węży miękkiego robota, który został na dodatek stworzony w oparciu o starożytną japońską sztukę cięcia papieru – kirigami. Teraz naukowcy zaprezentowali ulepszoną wersję swojej maszyny.

Oryginalny robot składał się z płaskiego arkusza kirigami owiniętego wokół elastomerowego siłownika, którego wypustki w kształcie łusek na całej długości uwypuklały się, gdy ten był rozciągany. Modyfikując wielkość nacięć, a także zwijając arkusz wewnątrz siłownika i przykładając na jego obu końcach siłę, naukowcy uzyskali większą kontrolę nad ruchem robota. Pozwoliło to bowiem na wymuszenie deformacji łusek w określonej kolejności.

– Bazując na modelach materiałów przekształcających fazy i stosując je do nowych materiałów inspirowanych kirigami, wykazaliśmy, że wypustki mogą znajdować się w różnym stanie na całej długości cylindra – powiedziała profesor Katia Bertoldi, starszy autor artykułu na temat badań nad robotem. – Dzięki temu po prostu kreując odpowiednie cięcia i prowadząc krzywizny, możemy zaprogramować rozmaite zachowania.

Efektem prac naukowców jest robot, który porusza się szybciej niż jego poprzednik i może być sterowany z większą precyzją. W trakcie wyścigu okazało się, że wersja, której wypustki uwypuklają się od tyłu do przodu, poruszała się najwolniej, podczas gdy robot, u którego odkształcały się jednocześnie, był nieco szybszy. Aby łatwo uzyskać kontrolę nad ruchem, ulepszoną konstrukcję zaprogramowano w taki sposób, aby odkształcenia inicjowane były na obu końcach robota.

Naukowcy są przekonani, że tego typu maszyny mogą pewnego dnia zostać wykorzystane do badania środowisk, które są niedostępne dla innych robotów. Badania zespołu z SEAS zostały opublikowane na łamach „Proceedings of the National Academy of Sciences".

Źródło: Newatlas

● Hitachi nabyło aktywa wiodącego amerykańskiego integratora systemów robotycznych, JR Automation Technologies, za kwotę 1,425 miliarda dolarów.

Japońska firma chce w ten sposób wzmocnić swoje działania w zakresie automatyki przemysłowej w Ameryce Północnej. Założone w 1980 roku JR Automation specjalizuje się w budowie linii produkcyjnych i systemów logistycznych wykorzystujących roboty przemysłowe. Zatrudnia ponad 2000 osób w 23 lokalizacjach na całym świecie. W ciągu ostatnich trzech lat zwiększała swoje przychody o 20% rokrocznie, osiągając w ubiegłym roku próg 603 milionów dolarów.

Przejęcie mocno zaangażuje Hitachi w szybko rozwijający się rynek systemów zrobotyzowanych w Ameryce Północnej i przyspieszy globalny rozwój jej spółki zależnej Lumada Solutions, która dostarcza usługi i technologie cyfrowe. Przejęcie pozwoli również zdobyć zaawansowane technologie, *know-how* i zasoby inżynierskie JR Automation.

Wiceprezes wykonawczy Hitachi, Masakazu Aoki opisuje przejęcie jako ważny kamień milowy. Oferując klientom wartość dodaną, która wynika z połączenia japońskich produktów z zakresu OT, IT oraz zaawansowanej technologii JR Automation, Hitachi przyspieszy swój globalny rozwój.

– Dzięki połączeniu nasze firmy staną się wykwalifikowanym liderem w dziedzinie inteligentnej produkcji. Partnerstwo umożliwi nam dalsze tworzenie namacalnych wartości dla naszych klientów dzięki innowacyjnym rozwiązaniom dedykowanym – powiedział Bryan Jones, dyrektor generalny JR Automation.

Główna siedziba przejętej spółki znajduje się w Holland, w stanie Michigan. Uważa się, że firma jest największym niezależnym dostawcą niestandardowych systemów automatyki w Ameryce Północnej. Posiada klientów z sektora motoryzacyjnego, lotniczego, elektronicznego oraz medycznego. Około 25% jej przychodów generowanych jest w skali międzynarodowej.

Przejęcie ma zostać sfinalizowane do końca 2019 roku.

Źródło: drivesncontrols

Wielofunkcyjna kamera z termowizją i certyfikatem Ex

CUBE 800

Wraz z Cube 800 firma Pepperl+Fuchs wprowadza na rynek pierwszą przenośną, odporną na czynniki mechaniczne i pogodowe kamerę wideo HD i na podczerwień dla strefy ATEX 2GD, która zapewnia cyfrową i termiczną technologię obrazowania do inspekcji w obszarach zagrożonych wybuchem.

W obszarach tych zarówno stan instalacji, jak i warunki temperaturowe muszą być regularnie sprawdzane – często w miejscach o ograniczonym dostępie. Kamera pozwala zidentyfikować krytyczne obszary o wiele szybciej i natychmiast rozpocząć działania naprawcze.

Zintegrowana kamera termowizyjna o długiej fali podczerwieni (8–14 um) i czułości termicznej <50 mK wskazuje potencjalnie krytyczne, przegrzane obszary. Kamera wideo z matrycą 13 MP i zoomem cyfrowym rejestruje filmy i zdjęcia w wysokiej rozdzielczości. Pierścień świetlny i laserowy wskaźnik celu zapewniają wysoką jakość obrazu przy słabym oświetleniu. Możliwe jest jednoczesne nagrywanie i wyświetlanie wideo i podczerwieni za pośrednictwem zewnętrznych urządzeń mobilnych Smart-Ex® i Tab-Ex®.

CUBE 800 może być używana do udostępniania na żywo zdjęć i nagrań dzięki opcjonalnej aplikacji typu Onsight Connect lub do pracy offline w celu rejestrowania i bezpiecznego przechowywania w pamięci wewnętrznej obrazów i nagrań. Wystarczy sparować CUBE 800 z urządzeniem mobilnym z obsługą Onsight Connect, np. Smart-Ex®, aby uzyskać możliwość zdalnej obsługi. Podczas sesji Onsight użytkownik może zdalnie kontrolować ustawienia kamery, w tym oświetlenie, zoom i tryby aparatu, oglądać wideo HD i obrazowanie termiczne lub robić i opisywać zdjęcia lub nagrania z bezpiecznej odległości w czasie rzeczywistym.

Aby zapewnić długi czas pracy, Cube 800 jest wyposażona w akumulator Li-Ion 2200 mAh. Komunikacja WiFi 2,4 GHz i 5 GHz oraz Bluetooth umożliwiają mobilną wymianę danych.

reklama

PEPPERL+FUCHS Sp. z o.o.
ul. Owsiana 12, 03-825 Warszawa
tel. 22-256 97 70, fax 22-256 97 73
info@pl.pepperl-fuchs.com
www.pepperl-fuchs.pl

PEPPERL+FUCHS

Enkodery Ethernet IP

Firma Fritz Kübler GmbH zaprojektowała linię enkoderów Sendix F5868 i F5888. Sygnały pomiarowe z tych enkoderów są transmitowane przez standardową sieć Ethernet, zaś dokładne czasy cyklów pozwalają uzyskać informację w czasie rzeczywistym, co zwiększa wydajność całego obiektu. Usprawnione możliwości diagnostyczne pozwalają uzyskać wczesne wykrywanie stanów krytycznych za pomocą panelu operacyjnego. Pojedyncze przerwanie przewodu transmisji nie powoduje zatrzymania całego obiektu. W przypadku takiej awarii DLR (ang. *Device Level Ring*) przełącza adresowanie użytkowników z drugiego kierunku przesyłu, co zapewnia ciągłość informacji pozycji bez straty czasu. Ponadto do kontrolera zostaje natychmiast przekazana informacja o lokalizacji uszkodzenia, co umożliwia szybką wymianę lub naprawę. Atutem Ethernetu jest również krótki czas uruchomienia, które odbywa się bezpośrednio po załączeniu napięcia zasilającego.

Zalety enkoderów Sendix F5868 i F5888:

- dedykowane m.in. do sterowników silników wyposażonych w interfejs Ethernet/IP;
- pozwalają uzyskać informację w czasie rzeczywistym, co zwiększa wydajność całego obiektu;
- solidna konstrukcja łożysk Safety-Lock zapewnia tym enkoderom prawidłową pracę nawet przy błędach montażowych, wstrząsach oraz wibracjach;
- krótki czas uruchomienia;
- dwa lata gwarancji.

Przeznaczenie enkoderów Ethernet IP

Każda gałąź przemysłu, np. motoryzacyjny, logistyka, obróbka metali, przemysł tekstylny i drukarski czy maszyn pakujących.

facebook: Kubler Poland, Youtube: Kubler Poland

reklama

Konektory M12 dla przemysłowych instalacji Ethernet

Pełna prędkość transmisji danych

Konektory M12 z ochroną IP67 doskonale sprawdzają się w wymagających aplikacjach przemysłowych Ethernet. Wersje z kodowaniem X gwarantują wysoką jakość transmisji danych. Wersje z kodowaniem Y umożliwiają transmisję danych i zasilania.

Rozbudowane systemy wizyjne stanowią przykład tego, jak wzrasta ilość danych generowanych w aplikacjach przemysłowych Ethernet. To wymaga wyższych prędkości transmisji. Coraz ważniejsze staje się zapotrzebowanie na ustandaryzowane struktury komunikacji w przedsiębiorstwach.

Konektory M12 z kodowaniem X to doskonałe rozwiązanie dla bezbłędnej, szybkiej transmisji danych aż do 10 gigabitów na sekundę. Umożliwiają transfer z pełną prędkością. Metalowy krzyż w kształcie litery X bezpiecznie oddziela od siebie cztery części danych. Przewody są ponadto ekranowane w celu ochrony przed zakłóceniami z zewnątrz.

Połączenie konektorów RJ45 w biurze oraz konektorów M12 z kodowaniem X przy maszynie umożliwia tworzenie zgodnej komunikacji Gigabit w przedsiębiorstwach.

Murrelektronik oferuje konektory M12 z kodowaniem X wraz z wysoko odpornymi przewodami PUR – doskonałe dla aplikacji w środowiskach przemysłowych.

- Transfer danych 10 Gbit/s zgodnie z Cat. A (ISO/IEC 11801).
- M12 kodowanie X (IEC 61076-2-109).
- Ekranowanie 360°.
- Lutowane, ekranowane połączenie przewodu i konektora.
- Odpowiednie dla aplikacji w środowisku przemysłowym aż do IP65/67.

Przewody hybrydowe – równoległy transfer danych i zasilania

Konektory M12 z kodowaniem Y umożliwiają transmisję danych i zasilania za pomocą jednego przewodu. Metalowe kodowanie Y oddziela w ułożeniu pinów cztery styki zasilania i cztery styki sygnałowe. To umożliwia transfer danych aż do 100 mbit/s przy zasilaniu 2×6 A.

Konektory M12 z kodowaniem Y upraszczają instalacje, co umożliwia redukcję kosztów. W połączeniu z przewodami PUR sprawdzają się w prowadnikach łańcuchowych i aplikacjach mobilnych.

- Transfer danych zgodnie z Cat. 5e (ISO/IEC 11801, Klasa D).
- Transfer zasilania aż do 2×6 A.
- Ekranowanie 360°.
- Lutowane, ekranowane połączenie przewodu i konektora.
- Odpowiednie do aplikacji w środowisku przemysłowym aż do IP65/67. ■

Murrelektronik Sp. z o.o.

Wydajne instalacje sieciowe

Maszyny i systemy coraz częściej pracują w sieciach. Rośnie znaczenie rozwiązań z zakresu automatyki opartych na Ethernecie. Kluczowym zagadnieniem jest przejście z PROFIBUS na PROFINET, co umożliwia implementowanie elastycznych topologii gwiazdy. To prowadzi do zwiększenia liczby komponentów Ethernet na maszynach i w systemach. Murrelektronik oferuje ekonomiczne, odpowiednie do pracy w sieci moduły Ethernet.

reklama

Od solidnych funkcji podstawowych po ogromną różnorodność funkcjonalną

Murrelektronik oferuje szerokie portfolio produktów. Switche niezarządzalne to niezawodna funkcjonalność podstawowa przy korzystnym bilansie ceny i wydajności. Switche zarządzalne PROFINET są doskonale przystosowane do maksymalnej funkcjonalności.

- Optymalna elastyczność okablowania i uproszczenie rozwiązań instalacyjnych.
- Łatwy wgląd w komunikację i nieskomplikowane podłączenie do sieci narzędzi analitycznych lub zintegrowanych webserwerów.
- Przeniesienie bezpośrednio na maszynę dzięki zastosowaniu kompaktowych i wytrzymałych modeli IP67 zwalnia miejsce w szafie sterowniczej.

Kompletne portfolio konektorów Ethernet

Murrelektronik to specjalista w zakresie konektorów, posiadający szeroką ofertę złączy dla systemów Ethernet:

- od biur po trudne warunki przemysłowe: rozwiązania dla aplikacji IP20 (RJ45) oraz IP67 (M12);
- modele kątowe IP20 – oszczędność miejsca i instalacje wysokiej jakości;
- konektory wstępnie zarobione każdej długości, w dowolnej wersji dostępne już od 1 sztuki;
- dodatkowa elastyczność – wersje prefabrykowane;
- pełna izolacja 360° dla bezpiecznego transferu danych.

Dodatkowa korzyść: Wersje gigabit kodowane X umożliwiają transfer aż do 10 Gbits/s, zapewniając przepustowość danych przy maksymalnej prędkości. ■

MURR ELEKTRONIK

Murrelektronik Sp. z o.o.
ul. Jordana 11
40-056 Katowice
tel. 32-730 00 20
fax 32-730 00 23
e-mail: info@murrelektronik.pl
www.murrelektronik.pl
shop.murrelektronik.pl

MURR ELEKTRONIK
stay connected

JESZCZE WIĘCEJ MOŻLIWOŚCI

Więcej wyborów.
Więcej kombinacji.
Większa indywidualność.

➔ Dobierz konektor idealny do Twojej aplikacji.

➔ INDUSTRIAL ETHERNET

Przewody dla wszystkich standardów Ethernetu

PROFINET · EtherNet/IP · sercos the automation bus · EtherCAT · ETHERNET POWERLINK · VARAN

Murrelektronik – we live connectors!

murrelektronik.pl

Zdalny dostęp – idealne rozwiązanie dla producentów maszyn

Producenci maszyn stają w obliczu wyzwań takich jak zapewnienie wysokiej prędkości, elastycznej konfiguracji oraz zaspokojenie oczekiwań klientów pod kątem niezawodności i dostępności. Stosowanie zaawansowanych technologicznie rozwiązań przez producentów, w połączeniu z brakiem specjalistycznej wiedzy po stronie klienta, może przyczyniać się do powstawania problemów związanych z obsługą oraz serwisowaniem maszyn. Bramki zdalnego dostępu firmy Ewon pomagają rozwiązać ten problem.

Poprawa efektywności

Według opinii użytkowników maszyn, czas oczekiwania na udzielenie pomocy technicznej wynosi zazwyczaj kilka godzin. W sytuacjach, kiedy zakład klienta oddalony jest o ponad sto kilometrów, maszyna może być niedostępna nawet przez cały dzień, z uwagi na konieczność zorganizowania podróży serwisanta. W przypadku maszyn eksploatowanych na innym kontynencie, przestój może trwać nawet kilka tygodni, podczas gdy na miejscu może okazać się, iż usunięcie usterki zajmie technikowi nie więcej niż 10 minut.

Nawet w przypadku klientów lokalnych, wyraźnie zauważalny jest czas upływający między wystąpieniem usterki, a jej usunięciem. Personel wsparcia technicznego często musi się także wywiązywać z innych obowiązków, a na jego barkach spoczywa obsługa dużej liczby klientów.

Ponieważ usterki maszyn często przytrafiają się na końcu łańcucha produkcyjnego, każdy przestój oznacza dla klienta duże koszty. W przypadku produkcji opakowań przeznaczonych do produktów o krótkim okresie przydatności do spożycia, takich jak warzywa, owoce czy produkty mleczne, straty mogą być jeszcze wyższe.

Co więcej, zakładając, iż naprawa usterki odbywa się w okresie gwarancyjnym maszyny, koszty podróży technika do zakładu, wraz z kosztami zakwaterowania oraz diet, mogą oznaczać dla producenta wydatek rzędu kilku do kilkudziesięciu złotych.

Dodatkowo, do tego typu kosztów bezpośrednich, należy doliczyć także straty związane z przerwaniem prac nad innymi, aktualnie wykonywanymi przez techników projektami.

Zastosowanie rozwiązań firmy Ewon, takich jak bramka Cosy, pozwala zoptymalizować koszty zarówno po stronie klienta, jak i samego producenta.

Szansa na rozwój nowego modelu biznesowego

Wiele firm ma w swojej ofercie umowy długofalowego wsparcia technicznego oraz wydłużonej gwarancji. Taka strategia pozwala umocnić relacje z klientem i może stanowić dodatkowe źródło dochodu dla producenta.

Zdalne monitorowanie umożliwia producentom maszyn stałą kontrolę pracy maszyny, jej prędkości roboczej oraz ogólnego stanu urządzenia. Ewon Cosy posiada funkcję podglądu PLC zainstalowanego na maszynie, dzięki czemu umożliwia przesyłanie wskazanym adresatom wiadomości informujących o nieprawidłowych parametrach pracy maszyny.

Wiadomości mogą być przesyłane pocztą elektroniczną lub pod wskazany numer telefonu. Takie proaktywne podejście pozwala skutecznie zapobiegać przestojom. W świecie, gdzie każdy przestój generuje koszty sięgające dziesiątek tysięcy złotych na godzinę, powiadomienia Ewon stają się niezwykle cennym źródłem informacji dla klientów i pozwalają na szybką interwencję.

Temat łączności za pomocą internetu często rodzi obawy o bezpieczeństwo, łatwość stosowania oraz skalowalność. Produkty Ewon pozwalają rozwiać wątpliwości użytkowników.

Bezpieczeństwo

Produkty Ewon wykorzystują zaawansowaną strategię *defense-in-depth* opartą na wytycznych określonych w standardach ISO27002, IEC 62443-2-4, NIST 1.0 oraz innych,

sprawdzonych w przemyśle rozwiązaniach i najlepszych praktykach. Takie kompleksowe podejście do kwestii bezpieczeństwa cybernetycznego zapewnia skuteczną ochronę parku maszynowego i systemów wykorzystywanych przez klienta.

Mimo iż obecnie hasło „bezpieczeństwa w przestrzeni wirtualnej" często wykorzystywane jest w sloganach reklamowych produktów, rozwiązania Ewon wykraczają daleko poza tradycyjne standardy. Ewon uzyskał certyfikację i jest zgodny z wytycznymi ISO 27001 (zwanymi normą ISO/IEC 27001:2005), określającymi specyfikację systemu zarządzania bezpieczeństwem informacji (ISMS). Wytyczne te wyznaczają ramy polityki i procedur obejmujących wszystkie prawne, fizyczne i techniczne środki kontroli stosowane w ramach procesu zarządzania ryzykiem związanym z informacją.

Co równie istotne, wszystkie produkty Ewon zostały poddane próbom i uzyskały certyfikację STAR (*Security Test Audit Report*). Ponadto, Ewon Talk2M, świadczona bezpłatnie usługa serwisowa w chmurze, jest regularnie poddawana testom i kontrolom przez strony trzecie w celu zapewnienia najwyższego poziomu bezpieczeństwa każdej platformy.

Łatwość stosowania, szybka i prosta konfiguracja

Urządzania Ewon są niezwykle intuicyjne w obsłudze. Pierwsza konfiguracja zajmuje większości serwisantów mniej niż 10 minut. Funkcja wtyczki umożliwia podłączenie do jakiegokolwiek urządzenia Ethernet, bez konieczności konfiguracji domyślnej bramki lub zatrzymywania pracy maszyny. Ponadto, szeroki zakres dostępnych opcji komunikacji w Ewon Cosy sprawia, że rozwiązanie znajduje zastosowanie zarówno u klientów używających sieci LAN/WAN, jak i tych posługujących się siecią WiFi, 3G lub 4G.

Skalowalność

Narzędzia zapewniane dzięki bezpłatnej infrastrukturze Ewon Talk2M umożliwiają inżynierom szybkie podłączanie się do wszystkich dostępnych w terenie urządzeń klienta i wykonanie koniecznej interwencji w sposób zdalny. Zaawansowane wersje Talk2M pozwalają na łatwą współpracę pomiędzy maszynami oraz zdalne zarządzanie nimi w zakładzie, z każdego miejsca na świecie. Co więcej, Ewon oferuje szereg możliwości w zakresie sposobu programowania – pozwala na programowanie nie tylko za pomocą komputera, ale także tabletu, smartfona czy innego urządzenia mobilnego.

W ciągu 18 lat istnienia Ewon stał się światowym liderem oraz ekspertem w produkcji przemysłowych bramek zdalnego dostępu do systemów sterowania i automatyki.

W doborze, konfiguracji oraz zakupie rozwiązań firmy Ewon pomoże Państwu RAControls – Promotor innowacji w przemyśle. ■

RAControls Sp. z o.o.
ul. Kościuszki 112
40-519 Katowice
tel. 32 788 77 00
e-mail: biuro@racontrols.pl
www.racontrols.pl

reklama

Ewon® BY HMS NETWORKS

Bezpieczny, zdalny dostęp do sterowników PLC i paneli operatorskich

Teraz dostępne... powiadomienia

LAN, WIFI, 3G+, 4G

Cosy 131

Przemysłowa bramka zdalnego dostępu

www.ewon.biz

RA Controls

HMS

Falownik Hitachi serii SJ, typ P1 – wybrane funkcje

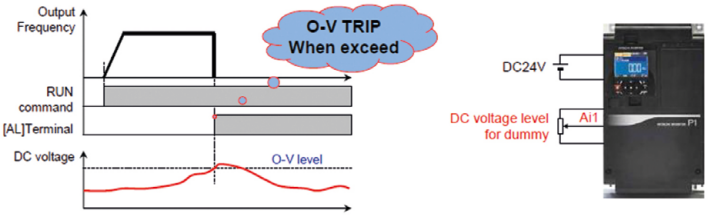
Chociaż najnowszy produkt w rodzinie falowników Hitachi, falownik serii SJ-P1, miał swoją polską premierę już ponad rok temu, zyskując w tym czasie liczne grono zadowolonych użytkowników, a jego możliwości i rozwiązania były szeroko opisywane w licznych materiałach marketingowych, szkoleniowych i artykułach, to niewątpliwie istnieje ciągła potrzeba dokładniejszego opisu wybranych ciekawych możliwości i funkcji tego falownika.

Z całą pewnością jedną z takich funkcji jest symulator pracy falownika. Funkcja ta polega na sprawdzeniu zachowania falownika w reakcji na zmiany wielkości symulowanej, którą to wielkością może być prąd silnika, napięcie szyny DC, napięcie wyjściowe falownika lub moment wyjściowy. Każdą z wymienionych wielkości można zasymulować na wybranym wejściu analogowym (dostępne są trzy wejścia analogowe napięcie/prąd) lub w określonym parametrze. Reakcja falownika na dane wielkości symulowane jest tożsama z reakcją falownika w trakcie rzeczywistej pracy z napędem. Zmieniając wartości zabezpieczeń, np. nadprądowych, nadnapięciowych, podnapięciowych, czy niektórych parametrów, możemy sprawdzić zachowanie falownika i skorygować nastawy przed jego właściwym podłączeniem do silnika. Funkcja ta jest prosta w obsłudze, nie wymaga zasilania falownika z sieci, a tylko zasilenia jego obwodów sterowniczym napięciem DC 24 V, przez co może służyć jako doskonałe narzędzie dydaktyczne.

Inną bardzo przydatną funkcją przemiennika częstotliwości SJ-P1 jest funkcja „TRACE", czyli śledzenie przebiegów szybkozmiennych. Przy korzystaniu z tej funkcji konieczne jest posiadanie narzędzia w postaci oprogramowania ProDriveNext, dostępnego bezpłatnie na stronie: **www.zeltech.pl.** Wykorzystując to narzędzie, użytkownik może śledzić i zapisywać do ośmiu interesujących go zmiennych równocześnie. Dane z pomiarów mogą być zapisane w postaci tabeli dającej się analizować i obrabiać

Simulation mode (Example 1)

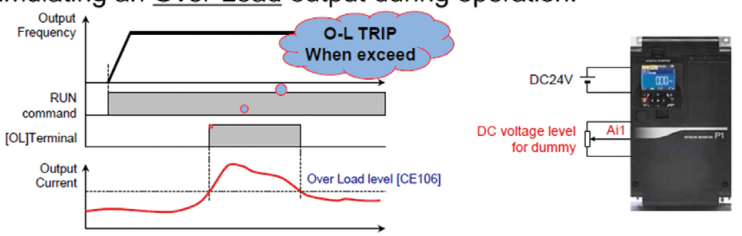
● Simulating an Over-Voltage error during operation.



Code	Item	Setting	
PA-20	Simulation mode selection	00: [Disable] 01: [Enable]	
PA-22	Output current monitor	00: [Disable] 01: Terminal [Ai1] 02: Terminal [Ai2] 03: Terminal [Ai3] ••• 09: Keypad [PA-23], [PA-25], [PA-27], [PA-29]	
PA-24	DC voltage monitor		
PA-26	Output voltage monitor		
PA-28	Output torque monitor		
PA-23	Output current monitor setting Keypad	0.0 – 300.0 [%]	Set when simulating signal value from Keypad
PA-25	DC voltage monitor setting Keypad		
PA-27	Output voltage monitor setting Keypad		
PA-25	Output torque monitor setting Keypad		

Simulation mode (Example 2)

● Simulating an Over-Load output during operation.



Code	Item	Setting	
PA-20	Simulation mode selection	00: [Disable] 01: [Enable]	
PA-22	Output current monitor	00: [Disable] 01: Terminal [Ai1] 02: Terminal [Ai2] 03: Terminal [Ai3] ••• 09: Keypad [PA-23], [PA-25], [PA-27], [PA-29]	Note: Over Current simulation is not possible because of hardware detecting function. Use PA-21 Alarm test
PA-24	DC voltage monitor		
PA-26	Output voltage monitor		
PA-28	Output torque monitor		
PA-23	Output current monitor setting Keypad	0.0 – 300.0 [%]	Also from Keypad is possible to simulate each levels with PA-23
PA-25	DC voltage monitor setting Keypad		
PA-27	Output voltage monitor setting Keypad		
PA-25	Output torque monitor setting Keypad		

np. przy wykorzystaniu programu Excel.W przypadku pojawiania się trudnych do analizy błędów falownika, wynikających np. ze zmieniających się warunków obciążenia, często nie jesteśmy w stanie na podstawie samych tylko danych błędu określić i wyeliminować przyczyny blokowania się przemiennika. Posiadając takie narzędzie, jak ProDriveNext z funkcją TRACE, określając odpowiednio zakres czasowy pomiaru, wielkość zmiennej powodującej wyzwolenie alarmowe, rozdzielczość próbkowania tej wielkości i określając TRIGGER, czyli czynnik wyzwalający pomiar, możemy na podstawie przebiegu wykresu bądź samych danych zmienna/czas określić przyczynę blokowania się napędu.

Generalnie seria SJ-P1 ma za zadanie uzupełnić i z czasem zastąpić sprawdzone już wektorowe falowniki SJ700B i SJ700D. W związku z powyższym nowa seria falowników Hitachi posiada wszystkie zaawansowane funkcje serii SJ700B i SJ700D, takie jak wbudowany ministerownik PLC, funkcje servo, czy wbudowaną jednostkę hamowania prądnicowego do mocy 37 kW. Dla ułatwienia wymiany przez użytkowników falowników serii SJ700B i SJ700D na nowy model SJ-P1 Hitachi w kolejnej edycji oprogramowania ProDriveNext wprowadzi funkcję konwersji parametrów z falowników starszej serii do falownika serii SJ-P1. Jest to szczególnie ważne, gdyż Hitachi w ostatnim modelu falownika zerwało z dotychczasowym oznaczeniem i nazewnictwem parametrów. Chociaż w nowym modelu P1 wszystkie parametry oprócz kodów posiadają opisy w języku polskim, to i tak proces odszukiwania odpowiedników parametrów z SJ700B/SJ700D w modelu SJ-P1 może przysparzać trudności.

Nowa seria falowników SJ-P1 podlega ciągłemu udoskonalaniu i dostosowywaniu się do potrzeb klienta. W odpowiedzi na te właśnie potrzeby już wkrótce panel operatorski TFT falownika zostanie wzbogacony o tzw. „krótkie menu". W menu tym użytkownik znajdzie pogrupowane najważniejsze funkcje niezbędne do parametryzacji falownika, co skróci niewątpliwie czas potrzebny do uruchomienia napędu.

Hitachi oferuje modele nowej serii SJ-P1 w zakresach mocy 0,75–132 kW na napięcie zasilania 380–500 V (+10%, –15%) AC. Modele te posiadają szeroki zakres zastosowań w aplikacjach przemysłowych. Modułowa konstrukcja i duża wszechstronność zapewniają optymalne i oszczędne rozwiązania techniczne, które mogą być indywidualnie dopasowane do konkretnego zastosowania. Falowniki SJ-P1 mogą być łatwo skonfigurowane i są tak zaprojektowane, aby dostarczać wysoką wydajność, niezawodność i elastyczność. ■

ZELTECH MECHATRONIKA Sp. z o.o.
94-103 Łódź
ul. Elektronowa 6
e-mail: mechatronika@zeltech.pl
www.zeltech.pl

ODDZIAŁ POŁUDNIE
43-300 Bielsko-Biała
ul. I Dyw. Pancernej 45
www.zeltech.pl

reklama

HITACHI
Inspire the Next

Falowniki
Serii SJ typ P1 -
segment premium

Hitachi rozwiązania dla automatyki

Zeltech Mechatronika Sp. z o.o.
ul. Elektronowa 6, 94-103 Łódź
tel: 42 254 09 25
mechatronika@zeltech.pl

ODDZIAŁ POŁUDNIE
ul. I Dywizji Pancernej 45
43-300 Bielsko-Biała
tel: 33 496 42 40, bb@zeltech.pl

www.zeltech.pl

Hitachi Industrial Equipment Systems Co., Ltd

Cyfrowa inwentaryzacja przyszłością utrzymania ruchu

Bezawaryjna praca maszyn i urządzeń to prawdziwa próba dla producentów maszyn, ale również dla służb utrzymania ruchu. Długotrwale przestoje negatywnie wpływają na wydajność produkcji oraz poziom realizacji założonych planów. Nowoczesne systemy monitoringu, dzięki swoim rozbudowanym właściwościom, wspomagają techników i operatorów obiektowych oraz wymuszają działania prewencyjne dla zapewnienia bezusterkowej pracy maszyn i urządzeń. Narzędzia takie to nowoczesne podejście do zarządzania zasobami w kompleksowy sposób.

Cyfrowe systemy zarządzania zasobami

LENZE SERVICE PORTAL jest centralnym narzędziem dedykowanym do zarządzania zasobami w przedsiębiorstwach. Użytkownik z poziomu przeglądarki internetowej ma dostęp do danych przechowywanych w chmurze. Dzięki zintegrowanym rozwiązaniom użytkownik może w scentralizowany i ustrukturyzowany sposób zarządzać bazą „wiedzy" oraz parametrów nadzorowanych urządzeń.

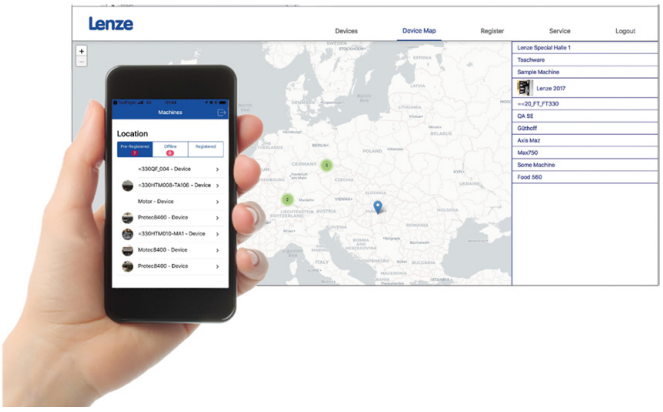
Portal daje dostęp do 4 modułów wpierających proces zarządzania zasobami dla potrzeb utrzymania ruchu:

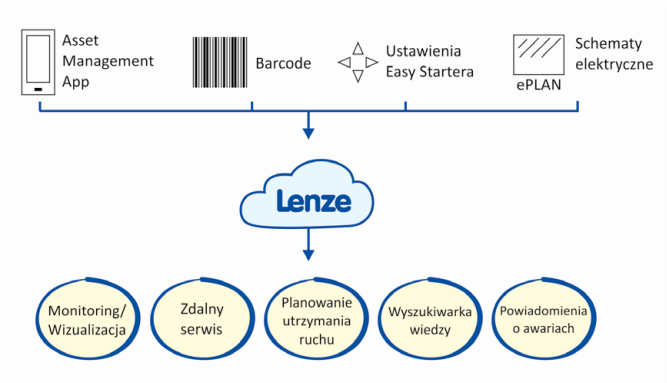
- Asset Management;
- EPLAN ePULSE Connection;
- Document and Search Management;
- Service Request.

Inwentaryzacja zasobów jako punkt wyjścia do stabilnej pracy urządzeń.

Proces zarządzania zasobami rozpoczyna dokonanie cyfrowej inwentaryzacji zasobów, sklasyfikowanie wszelkich istotnych parametrów urządzenia oraz określenie obecnego stanu technicznego komponentów, np. napędów.

Do przeprowadzenia inwentaryzacji Lenze oferuje aplikację SMART Inventory na smartfony (dla systemu Android i iOS), która może być wykorzystana do szybkiego skatalogowania zasobów. Proces ten można również zlecić do wykonania inżynierom Lenze.





System integruje w jednym miejscu najistotniejsze informacje dotyczące urządzenia: wyszczególnienie komponentów, instrukcje obsługi, parametry i numery seryjne, konfigurację urządzeń, ale również informacje dotyczące serwisowania oraz cyklu życia.

EPLAN eVIEW – importowanie zasobów i danych uzupełniających

Zarządzanie zasobami jest połączone z EPLAN ePULSE za pomocą zintegrowanego logowania. To połączenie umożliwia automatyczne przesyłanie schematów obwodów przechowywanych w systemie zarządzania zasobami i umieszczanie urządzeń w strukturze systemu. Korzystając z tej mapy struktury systemu, można następnie przejść bezpośrednio do schematu. Oznacza to, że przechowywane dokumenty i schemat połączeń są zawsze łatwo dostępne.

Zarządzanie dokumentami i wyszukiwaniem

Użytkownik SERVICE PORTAL otrzymuje dostęp do dokumentacji technicznej udostępnianej przez LENZE dla posiadanych zasobów. Oznacza to np. dostęp do instrukcji obsługi online dla posiadanych urządzeń.

Zintegrowana funkcja zarządzania informacjami umożliwia wyszukiwanie zapisanych dokumentów pod kątem określonych słów kluczowych. Oznacza to na przykład, że wszelkie usterki można bardzo szybko znaleźć w instrukcji obsługi i szukanym rozwiązaniu. Wyniki wyszukiwania są podświetlone, co ułatwia szybką diagnozę urządzenia – np. poprzez wyszukanie

w dokumentacji kodu błędu, który zgłasza falownik – dzięki temu można samodzielnie zidentyfikować możliwe przyczyny pojawienia się błędu.

Zarządzanie zgłoszeniami serwisowymi

Funkcja „SERVICE REQUEST" umożliwia rejestrowanie zgłoszeń serwisowych, nadawanie im priorytetów i przekazywanie w razie potrzeby. Funkcja ta umożliwia rejestrowanie zgłoszeń serwisowych powiązanych bezpośrednio z wadliwym zasobem. Można również za pomocą aplikacji mobilnej lub z komputera za pośrednictwem portalu internetowego wysłać komunikat o błędzie bezpośrednio do serwisu Lenze.

Wszystkie zgłoszenia serwisowe otrzymane przez portal serwisowy Lenze są traktowane przez Lenze jako priorytetowe. Pozwala to na szybkie skorzystanie z wiedzy naszych ekspertów i doświadczenia w zakresie zastosowanych rozwiązań.

Podsumowanie korzyści pracy przy wsparciu LENZE SERVICE PORTAL

- Dostęp z dowolnego miejsca za pośrednictwem internetu.
- Wszystkie istotne informacje o zasobach w jednym miejscu – w edytowalnej, hierarchicznej formie, wraz z dostępem do dokumentacji technicznej LENZE.
- Łatwe zarządzanie wiedzą, konfiguracjami oraz projektami elektrycznymi EPLAN.
- Zintegrowany system zgłoszeń awarii – z SERVICE PORTAL oraz aplikacji Smart Inventory – bezpośrednio do serwisu LENZE.
- Szybsza wymiana uszkodzonych urządzeń dzięki bezpośredniemu dostępowi do numeru seryjnego i parametrów urządzenia, które umożliwiają szybką identyfikację urządzenia.
- Generowanie analiz i statystyk potrzebnych do pełnego obrazu maszyn i procesów, w celu prewencyjnego utrzymania ruchu.
- Generowanie powiadomień o błędach, awariach oraz krytycznych przekroczeniach parametrów.

Wdrożenie systemu Lenze poprzez stały monitoring urządzeń, pozwala ograniczyć koszty związane z obsługą serwisową oraz zminimalizować czas nieplanowanych przestojów. W dobie ogromnej konkurencji oraz braków wykwalifikowanych techników utrzymania ruchu wsparcie najnowszych rozwiązań technologicznych daje ogromne możliwości usprawnienia procesów produkcyjnych oraz utrzymania ruchu. ■

reklama

Lenze

Lenze Polska Sp. z o.o.
ul. Roździeńskiego 188 B
40-203 Katowice
tel. 32-203 97 73
fax 32-781 01 80
lenze@lenze.pl
www.lenze.pl

i700

Moduł osiowy do układów centralnego sterowania ruchem.

Dynamiczny układ sterowania silnikiem, odpowiedni do szerokiego zakresu aplikacji. Dzięki koncepcji książkowego montażu oraz prostemu programowaniu, znacząco upraszcza integrację napędu i jego uruchomienie. Automatyczne przesyłanie parametrów i firmware poprzez system sterowania, umożliwia bezproblemową wymianę modułu.

Niezwykła oszczędność miejsca. i700 daje możliwość sterowania dwoma silnikami za pomocą jednego modułu.

www.lenze.pl

Lenze
To takie proste.

SMART trendy na Targach ITM Polska 2019

Idea SMART jest jednym z najszybciej rozwijających się trendów technologicznych, który wkracza w coraz więcej dziedzin życia – tak zawodowego, jak i prywatnego. Jesteśmy obecnie świadkami rewolucji, która ma szansę wprowadzić do przedsiębiorstw nowe, inteligentne rozwiązania. Koncepcja SMART Industry znajdzie się w centrum uwagi podczas Targów ITM Polska. Nie zawiodą się wszyscy zainteresowani digitalizacją, integracją i automatyzacją procesów technologicznych. Wystawcy zaprezentują maszyny, urządzenia, technologie i oprogramowanie działające zgodnie z tematyką Przemysłu 4.0 i Smart Factory.

SMART wydarzenia

Smart Industry, podobnie jak Industry 4.0, jest pojęciem, które obejmuje swoim zasięgiem zjawiska związane z cyfryzacją gospodarki, w szczególności przemysłu. Opiera się na trzech filarach: digitalizacji informacji, elastycznych i inteligentnych technologiach produkcji oraz nowoczesnej komunikacji – wszystko na poziomie hali produkcyjnej, skutkujące inteligentnymi, wydajnymi i responsywnymi działaniami.

Wiele wydarzeń zaplanowanych na tegoroczną edycję Targów ITM Polska 2019 odbywać się będzie właśnie pod hasłem „SMART". Pracujemy nad przygotowaniem przestrzeni specjalnej – Smart Factory – której celem jest omówienie i pokazanie procesu produkcji w inteligentnych fabrykach (IoT, digitalizacja, robotyzacja). Ponadto, w ramach Targów Modernlog, zorganizowana będzie Smart Warehouse – konferencja kompleksowo prezentująca kluczowe zagadnienia logistyki 4.0. Kolejną nowością będzie Smart Poznań Manufactury Meeting, czyli wydarzenie dedykowane dla przedstawicieli branży utrzymania ruchu, dające możliwość pozyskania wiedzy, inspiracji, dobrych praktyk z zakresu zarządzania obszarem maintenance. W roku bieżącym kontynuowana będzie także inicjatywa „ścieżek zwiedzania", w ramach których grupy pod opieką merytoryczną przewodnika będą odwiedzały wybrane stoiska targowe, zapoznając się z tematyką: „Przemysł 4.0", „Druk 3D" oraz „Logistyka 4.0".

Efektywna produkcja

Nowoczesne technologie odgrywają współcześnie istotną rolę we wszystkich niemal obszarach działalności człowieka. W przemyśle jednym z ważniejszych elementów rozwoju jest automatyzacja procesów produkcyjnych. Roboty są doskonałym narzędziem w rękach człowieka, który wie, jak je wykorzystać,

by dostarczać konsumentom produkty, jakich oczekują. Robotyzacja produkcji jest jednym z najbardziej widocznych trendów w polskim przemyśle na przestrzeni ostatnich lat. Roboty przemysłowe pojawiają się w nowych obszarach i są wykorzystywane do coraz większej liczby zadań, dotychczas realizowanych przez człowieka.

– Kooperacja ludzi z robotami rozwija przedsiębiorstwa, otwiera nowe szanse i wpływa na wzrost poziomu wiedzy, bo w obliczu zachodzących zmian praca ludzka staje się bardziej wymagająca i wartościowa. Robotyzacja jest obecna niemal w każdej branży: rozwija produkty, wpływa na wizerunek firmy, jej konkurencyjność, elastyczność oraz bezpieczeństwo. Wszystkie te czynniki mają bardzo duże znaczenie nie tylko w kontekście rozwoju przemysłu, ale i całego społeczeństwa – podkreśla Joanna Kucharska, dyrektor Targów ITM Polska. – Oczywiście w naszej ofercie targowej na ITM Polska 2019 nie zabraknie ekspozycji, w ramach których liderzy branży zaprezentują innowacyjne rozwiązania i technologie związane z robotyzacją i automatyzacją przemysłu – dodaje.

reklama

ROBOTYKA.com
Najnowsze informacje ze świata robotyki
katalog branżowy | aplikacje robotów | targi

Przemiennik częstotliwości SXS1000 firmy SANYU sterujący pompą basenową

Dbałość o środowisko i oszczędność wody są obecnie jednymi z najgłośniejszych haseł w mediach. Jednocześnie miłośnicy pływania nie wyobrażają sobie życia bez regularnego odwiedzania basenu. Ten ostatni generuje jednak duże koszty związane z energią i wypełniającą go wodą. Jak zatem pogodzić budowę basenów z działaniami na rzecz środowiska?

Wyzwanie – praca pompy basenowej

Jednym z elementów generujących duże koszty energetyczne jest pompa basenowa, odpowiadająca za przepływ wody. W szczególności kiedy rozpoczyna pracę, wymaga dużych nakładów energetycznych. Wynika to z faktu, że pompa musi pokonać opór stojącej wody. W dalszej części pracy, kiedy przepływ jest już ustabilizowany, wymagana energia jest mniejsza.

Drugim problemem jest regulacja przepływu wody. Przepływ generowany przez silnik pompy pracujący na stałych, wysokich obrotach regulowany jest za pomocą zaworów, które powodują dławienie wody. Długotrwałe duże ciśnienie spowodowane dławieniem na zaworach może prowadzić do ich uszkodzenia.

Pompa sterowana przemiennikiem częstotliwości SXS1000

Jednym z dostępnych rozwiązań, jest stosowanie pomp basenowych sterowanych przemiennikami częstotliwości. Ich wykorzystanie umożliwia dopasowanie obrotów silnika do aktualnych wymagań systemu. Dzięki temu w początkowej fazie pracy, kiedy niezbędne jest pokonanie oporu wody, silnik pracuje na zwiększonych obrotach.

Z kolei w drugiej fazie, kiedy przepływ jest już ustalony, falownik pozwala na zmniejszenie obrotów. W efekcie powstaje mniejsze ciśnienie w układzie, przy zachowaniu optymalnego przepływu. To z kolei przyczynia się do dłuższej żywotności poszczególnych elementów układu.

reklama

Inne korzyści z zastosowania falownika

Wykorzystanie przemiennika częstotliwości do sterowania silnikiem pompy pozwala również na maksymalne wykorzystanie energii. Zmniejszenie ponoszonych strat i dostosowywanie obrotów do aktualnej sytuacji pociąga za sobą zmniejszenie kosztów związanych z prowadzeniem basenu. Co więcej, zastosowanie automatycznego sterowania pozwala na zwiększenie dokładności filtracji wody oraz zabezpiecza układ przed cofaniem się wody i suchobiegiem. ■

ECO & MONEY SAVING
SANYU.eu®

WYDARZENIA

● **Firma Bosch Rexroth dostarczy systemy napędowe Hägglunds do największej na świecie ładowarki czerpakowej**

Firma Bosch Rexroth została wytypowana przez Thyssenkrupp Industrial Solutions Australia jako dostawca napędu koła czerpakowego dla największej szynowej ładowarki czerpakowej, jaka kiedykolwiek została zbudowana. Ładowarka ta, dysponując wydajnością na poziomie 20 000 ton/godzinę, zostanie zainstalowana w nowej kopalni rudy żelaza BHP South Flank w regionie Pilbara w Zachodniej Australii.

Bosch Rexroth dostarczy system napędu koła czerpakowego firmie Thyssenkrupp Industrial Solutions, która zaprojektuje, zbuduje i uruchomi tę gigantyczną maszynę. System napędowy będzie bazował na sprawdzonej technologii napędu bezpośredniego Hägglunds, który oferuje dużą gęstość mocy i elastyczną konstrukcję napędu, doskonale nadającą się do stosowania w ładowarkach czerpakowych. System będzie wykorzystywał największy w historii silnik hydrauliczny, Hägglunds CBm 8000.

Oprócz systemu napędowego koła czerpakowego, firma Bosch Rexroth dostarczy napędy Hägglunds do obrotu ładowarki oraz dwóch zwałowarek pracujących w tej samej kopalni. Każdy z napędów obrotu będzie składał się z czterech silników Hägglunds CB zintegrowanych z hamulcami.

– Ładowarki czerpakowe to jedne z najpopularniejszych aplikacji dla oferowanych przez nas silników Hägglunds oraz bezpośrednich systemów napędowych – powiedział Uno Sundelin, dyrektor ds. górnictwa i transportu materiałów w dziale produktów Hägglunds. – Bardzo cenimy sobie możliwość zastosowania naszego największego silnika Hägglunds na zlecenie Thyssenkrupp Industrial Solutions w tej naprawdę wyjątkowej instalacji.

Systemy bezpośrednich napędów hydraulicznych Hägglunds zapewniają wysoki moment obrotowy potrzebny w ładowarkach czerpakowych, zachowując jednocześnie niską masę i dużą elastyczność. Na wysięgniku w napędzie koła jest tylko lekki silnik hydrauliczny, natomiast jednostka napędowa wraz z silnikami elektrycznymi i pompami może być umiejscowiona bliżej środka maszyny. W wielu przypadkach pozwala to producentom zredukować masę konstrukcji i przeciwwagi, dzięki czemu ładowarka czerpakowa staje się lżejsza, sprawniejsza i oszczędniejsza w zakresie zużycia energii.

W trakcie eksploatacji bezpośrednie napędy hydrauliczne Hägglunds zapewniają użytkownikom dodatkowe korzyści, takie jak precyzyjna kontrola prędkości oraz ograniczenie momentu obrotowego w warunkach przeciążenia. W przypadku ładowarki czerpakowej

takie zalety przyczyniają się do zwiększenia bezpieczeństwa i wydajności transportu, np. poprzez możliwość dostosowania się do warunków środowiskowych oraz typu transportowanych materiałów.

W kopalni BHP South Flank szynowa ładowarka czerpakowa będzie wykorzystywana do załadunku rudy żelaza, która będzie w dalszej kolejności transportowana drogą kolejową do Port Hedland. Rozpoczęcie produkcji planowane jest na rok 2021, a z przewidywanym rocznym wydobyciem rudy żelaza na poziomie 80 milionów ton będzie to jedna z największych tego typu operacji na świecie.

– Rozwiązania firmy Bosch Rexroth stosowane są w górnictwie i transporcie materiałów na całym świecie – mówi Uno Sundelin. – Szczególnie istotne jest to, że nasz największy dotychczas silnik Hägglunds CBm 8000 będzie obsługiwał jedno z największych przedsięwzięć w historii górnictwa.

Źródło: Bosch Rexroth

W kierunku Przemysłu 4.0 – International Mining Forum 2019

Ryszard Klencz

International Mining Forum 2019 to sposobność przedstawienia tego, co udało się wdrożyć w JSW po stronie związanej z górnictwem i w branży koksowniczej. Poruszono także zagadnienia bezpieczeństwa pracy w zakresie podziemnej telekomunikacji, problemy analizy danych, oraz metody poprawy efektywności pracy.

JSW prezentowało prace w zakresie separacji i produkcji wodoru z gazu koksowniczego oraz badania dotyczące produkcji włókien węglowych z produktów otrzymanych w tym procesie dla przemysłu samochodowego i lotniczego.

W planie JSW jest zakup w pełni autonomicznego kompleksu ścianowego. Kotwienie pozwoli na znaczne przyspieszenie drążenia chodników i przyniesie spore oszczędności poprzez rezygnację z łukowych obudów stalowych. Wydobycie na głębokości 1300 m stanie się łatwiejsze. Zakupiono oprogramowanie, które pozwala, by wszystkie mapy były już cyfrowe.

W perspektywie JSW planuje budowę nowej kopalni, która byłaby najefektywniejsza w kraju, z wykorzystaniem nowoczesnych technologii przeróbczych.

Żeby realizować te cele, potrzebna jest współpraca z instytucjami UE w kwestii finansowania. Europejskie Stowarzyszenie Surowców Krytycznych, potwierdza, że surowce krytyczne stają się coraz ważniejsze w rozwoju Unii Europejskiej, uwzględniając udział w światowym rynku USA i Chin. Istotne jest spełnienie kryteriów merytorycznych, kwalifikujących do wpisania surowca na taką listę. Obecność węgla koksującego na unijnej liście surowców krytycznych oznacza możliwość uzyskania finansowania zewnętrznego dla inwestycji JSW.

– Przed nami jest jeszcze dużo pracy, czerpiemy to, co najlepsze, z różnych rozwiązań światowych – powiedział prezes JSW, Daniel Ozon.

W trakcie International Mining Forum 2019 zostały podpisane porozumienia o współpracy między Grupą Kapitałową JSW a potentatami branży informatycznej, Microsoft, IBM i SAP Polska.

Porozumienie zawarte przez JSW, JSW IT Systems oraz SAP Polska w zakresie IT dotyczy współpracy w zakresie rozwiązań wspierających zarządzanie przedsiębiorstwem oraz wykorzystaniem nowoczesnych technologii oraz usprawnienie procesów przetwarzania dużej ilości danych w branży górniczej.

Oprócz tego, że trudnią się wydobywaniem surowców, kopalnie są również przedsiębiorstwem transportowym. Zaprojektowanie układu transportu dostosowanego do panujących warunków w kopalni jest jednym z ważniejszych aspektów związanych z bezpieczeństwem pracy.

JSW stawia też na bezpieczeństwo załogi. Wsparciem będą najnowsze technologie dotyczące lokalizacji załogi pod ziemią.

Automatyzacja, dane cyfrowe i cyfrowa łączność to kierunek rozwoju JSW. Rozwiązania te pozwolą na wydłużenie efektywnego czasu pracy maszyn pod ziemią. Rozwiązaniami tymi zainteresowani są też Polska Grupa Górnicza, Bogdanka, KGHM oraz Turon Wydobycie. ■

WYDARZENIA

● Politechnika Gdańska zbuduje Centrum Kompetencji STOS (*Smart and Transdisciplinary knOwledge Services*) wyposażone w centra obliczeniowe i pojemne bazy danych. Inwestycja kosztować będzie łącznie 114 milionów złotych. W sumie blisko 60% środków zostanie pozyskanych z programów unijnych oraz zasobów Ministerstwa Inwestycji i Rozwoju.

Inteligentny budynek z infrastrukturą informatyczną o powierzchni 12 tysięcy metrów kwadratowych pomieści m.in. odporną na wodę, ogień i zakłócenia elektromagnetyczne serwerownię. Znajdzie się w nim również superkomputer, osiem laboratoriów i projektowni oraz sala konferencyjna.

Celem utworzenia STOS jest zwiększenie stopnia komercjalizacji działalności B+R. Lokalny samorząd ma nadzieję, że Centrum Kompetencji pozwoli na rozwój pomorskich firm i wspomoże instytucje samorządowe.

Inwestycja ma zostać zakończona do końca 2021 roku i stanowić będzie część Centrum Informatycznego Trójmiejskiej Akademickiej Sieci Komputerowej (CI TASK).

Źródło: pap

● Idea całkowitej automatyzacji magazynów Amazon nie ziści się w ciągu najbliższych lat. Przynajmniej takiego zdania jest dyrektor ds. robotyzacji w firmie, Scott Anderson. Uważa on, że obecny stan technologii nie pozwala na uzyskanie pełnej autonomiczności.

Podczas gdy spółka wciąż bada różnorodne technologie automatyzacji, błędne jest przekonanie, że w najbliższej przyszłości firma zastąpi pracowników robotami. Anderson uważa, że z pewnością nie nastąpi to w ciągu nadchodzących dziesięciu lat.

Obecnie magazyny Amazon korzystające z robotów zajmują się głównie towarami ogólnymi, takimi jak artykuły gospodarstwa domowego czy rowery, ale funkcje wykorzystywanych w nich maszyn są stosunkowo ograniczone.

Źródło: engadget

Detekcja asymetrii szczeliny powietrznej w generatorze ze wzbudzeniem od magnesów trwałych, bazująca na analizie częstotliwościowej prądu

Marcin Barański

1. Wstęp

Asymetria szczeliny powietrznej w maszynie elektrycznej jest zjawiskiem negatywnym i może doprowadzić do poważnej usterki całego napędu. Dlatego ważne jest bezzwłoczne przeciwdziałanie – w przeciwnym razie uszkodzenie będzie się pogłębiać.

Nierównomierny rozkład szczeliny powietrznej może powstawać już na etapie wytwarzania danej maszyny i nie wyklucza jej pracy, jednak będzie się to objawiać wahaniami głównie momentu elektromagnetycznego. Pulsacje będą powodowały wzrost poziomu wibracji oraz hałasu.

Wzrost poziomu wibracji w maszynie elektrycznej jest zazwyczaj objawem uszkodzenia. Zignorowanie symptomów zwykle doprowadza do awarii, której koszty mogą przewyższyć koszt napędu [1].

2. Ekscentryczność

Niesymetryczna szczelina posiada największy oraz najczęstszy wpływ na asymetryczny rozkład pola magnetycznego w maszynie elektrycznej. Może być ona spowodowana ugięciami wału lub kadłuba, mimośrodowym osadzeniem rdzenia wirnika na wale wynikającym z sumowania się łańcucha tolerancji technologicznych, uszkodzeniem łożyska lub gniazda łożyskowego, a w przypadku maszyn z magnesami trwałymi niesymetrycznym osadzeniem magnesów na wirniku. Dodatkowo w takich maszynach może występować moment zaczepowy, który również powoduje niesymetrię pola magnetycznego [2].

Wynikiem niesymetrycznego rozkładu szczeliny jest naciąg magnetyczny. Jest to w większości przypadków siła promieniowa, która może być również następstwem:

- nieprawidłowego wykonania uzwojeń – powstaje wówczas asymetria sił magnetomotorycznych występujących w obwodzie magnetycznym;
- anizotropii magnetycznej rdzenia oraz asymetrii szczeliny powietrznej względem osi stojana.

Istnieją trzy rodzaje asymetrii szczeliny powietrznej zwanej ekscentrycznością:

- statyczna – rys. 1;
- dynamiczna – rys. 2;
- mieszana – rys. 3.

Ekscentryczność statyczna charakteryzuje się tym, że położenie maksymalnej szczeliny na obwodzie maszyny jest stałe

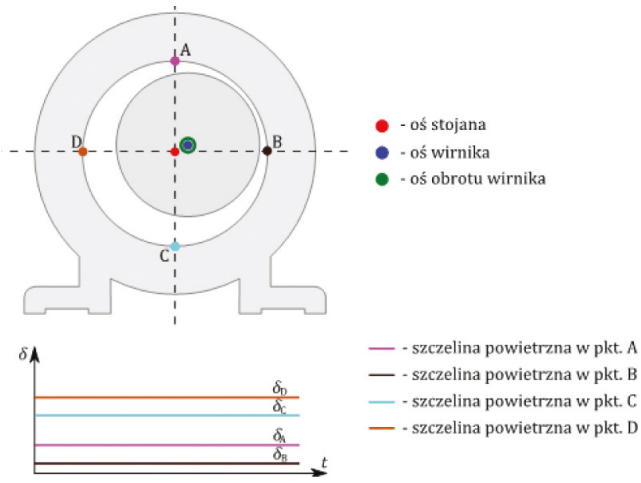
Streszczenie: W artykule autor przedstawia wpływ asymetrii szczeliny powietrznej na prąd generatora ze wzbudzeniem pochodzącym od magnesów trwałych. Publikacja zawiera wyniki symulacji komputerowych wykonanych w programie Ansys Maxwell 2D oraz wyniki badań laboratoryjnych dotyczące zjawiska ekscentryczności. Do badań wykorzystano specjalną konstrukcję generatora wyposażonego w tarcze łożyskowe umożliwiające zmianę usytuowania wirnika względem stojana. Rozwiązanie to zostało opatentowane. Przedstawiono przebiegi czasowe prądu wraz z analizą częstotliwościową – zarówno dla symulacji, jak również badań laboratoryjnych. Wyselekcjonowano szereg częstotliwości, które towarzyszą asymetrii szczeliny powietrznej. W podsumowaniu przedstawiono również autorskie równanie matematyczne, które stanowi pewnego rodzaju marker dla rozpatrywanego zjawiska. Pozwala ono na podstawie analizy częstotliwościowej prądu maszyny zdiagnozować rozkład szczeliny powietrznej.

Słowa kluczowe: maszyna elektryczna, magnesy trwałe, diagnostyka, ekscentryczność

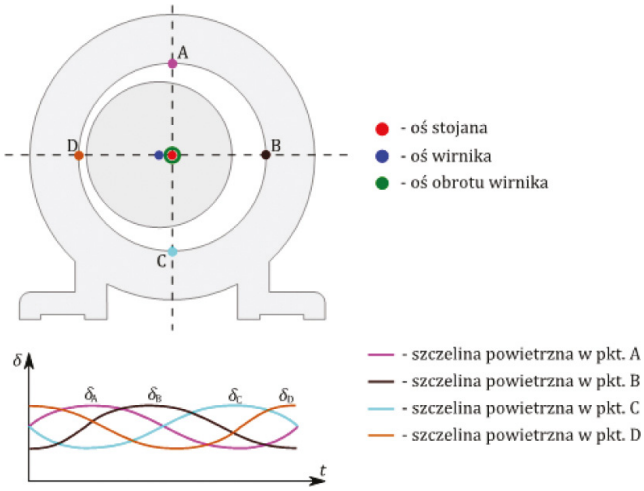
AIR GAP ASYMMETRY DETECTION OF PM GENERATOR BASED ON FREQUENCY ANALYSIS OF CURRENT

Abstract: *In this article author described an influence of air gap asymmetry of PM generator current. The publication contains results of computer simulations and laboratory tests results of eccentricity. For tests was used generator with special bearing shields. These shields make possible change position between rotor and stator of machine. This is the subject of patent application. The waveforms of current and frequency analysis for simulations and laboratory tests are presented in the paper. A series of frequencies has been selected that accompany the asymmetry of the air gap. The mathematical equation – a marker for this disruption is presented in the summary. This equation make possible air gap distribution diagnose based on frequency analysis of generator current.*

Keywords: electrical machine, permanent magnets, diagnostics, eccentricity



Rys. 1. Ekscentryczność statyczna



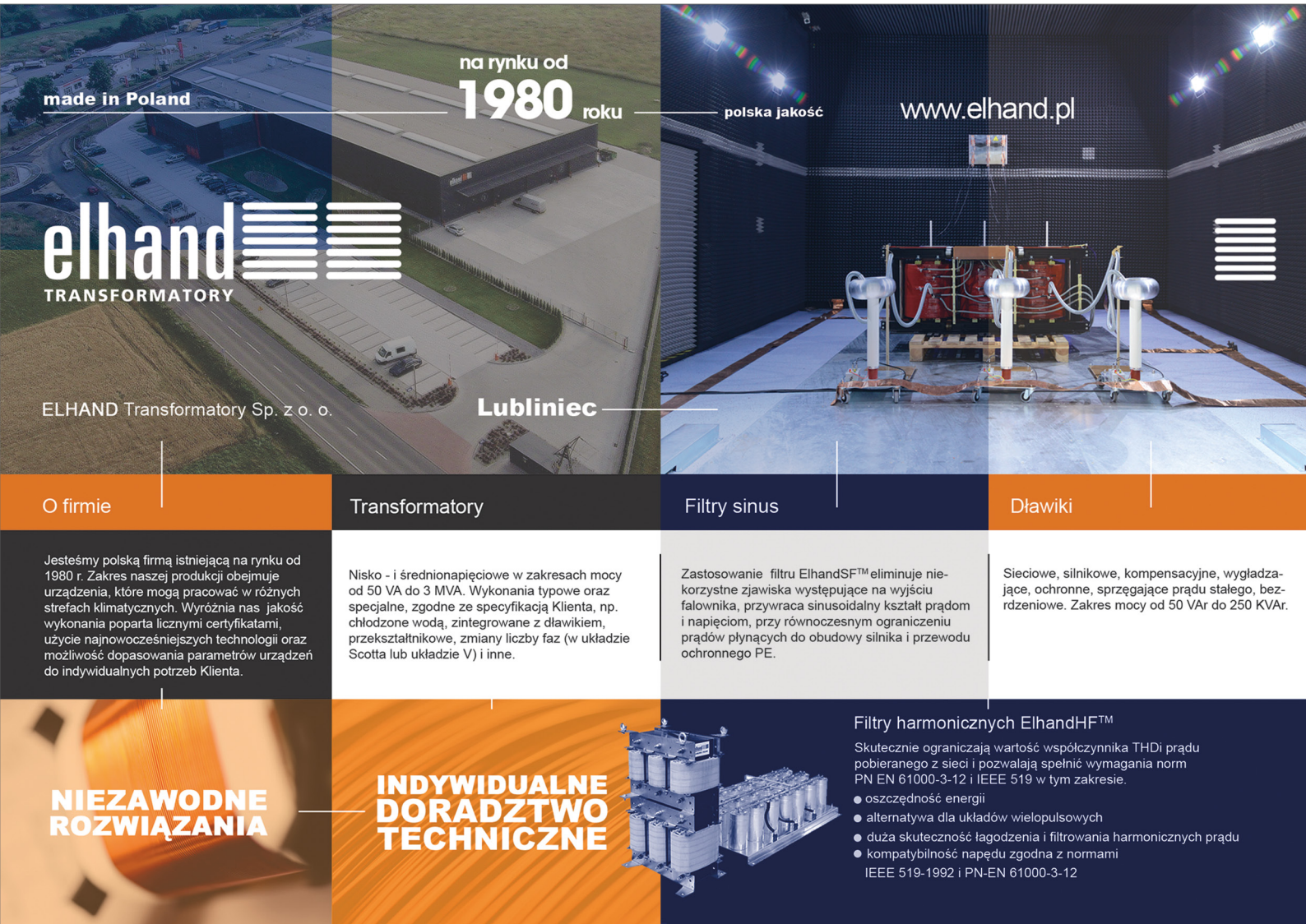
Rys. 2. Ekscentryczność dynamiczna

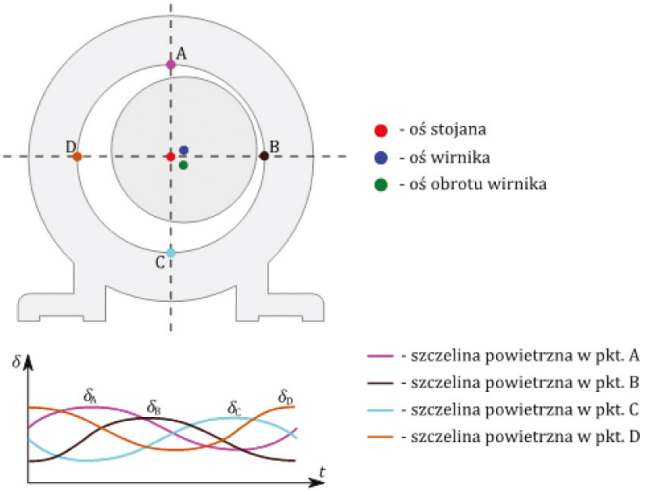
i może wynikać z owalności rdzenia bądź błędów montażowych. W przypadku mimośrodowości dynamicznej położenie maksymalnej szczeliny zmienia się wraz z pozycją wirnika i może wynikać ze zużycia się węzłów łożyskowych, zgiętego wału itp. Najczęściej jest więc spowodowana zużyciem się maszyny podczas jej eksploatacji. Mieszana jest połączeniem obu powyższych.

3. Symulacje komputerowe

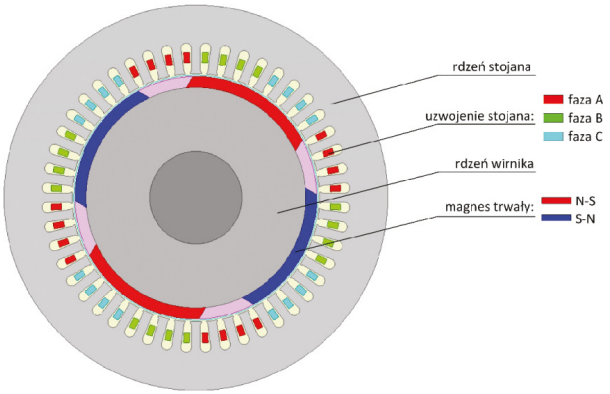
Do symulacji wykorzystano model polowo-obwodowy generatora z magnesami trwałymi typu (rys. 4): PMzsg132M–4 ze stojanem 48 żłobkowym i wirnikiem SPM posiadającym magnesy umieszczone na powierzchni. Parametry maszyny: $P_N = 6{,}0$ kW, $U_N = 84$ V, $I_N = 41{,}2$ A, $n_N = 1500$ 1/min, $\eta_N = 91{,}0\%$. Maszyna została zaprojektowana ze szczeliną powietrzną

reklama





Rys. 3. Ekscentryczność mieszana



Rys. 4. Model polowo-obwodowy generatora z magnesami trwałymi

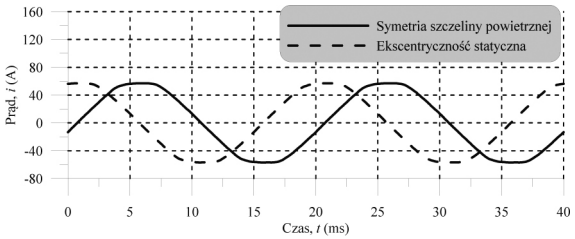
δ = 1,5 mm – celem ułatwienia modelowania asymetrii rozkładu pola.

Zarówno symulacje komputerowe, jak również późniejsze badania laboratoryjne przeprowadzono dla parametrów znamionowych. Natomiast podczas badań przy pracy z asymetrycznym rozkładem pola nie przekraczano prądu znamionowego. Symulacje oraz badania wykonano dla asymetrii δ_{min} = 0,5 mm, δ_{max} = 2,5 mm.

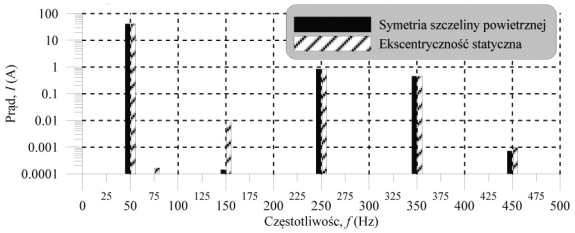
Na rysunkach 5 oraz 7 przedstawiono porównanie przebiegów czasowych prądu obciążenia dla symetrycznego oraz niesymetrycznego rozkładu szczeliny powietrznej w generatorze z magnesami trwałymi oraz porównanie widm częstotliwościowych tych prądów – rysunek 8 oraz 9. W tabelach 1 oraz 2 umieszczono wartości skuteczne składowych prądu generatora PM, dla których przy asymetrii szczeliny powietrznej zaobserwowano wzrost wartości.

4. Badania laboratoryjne

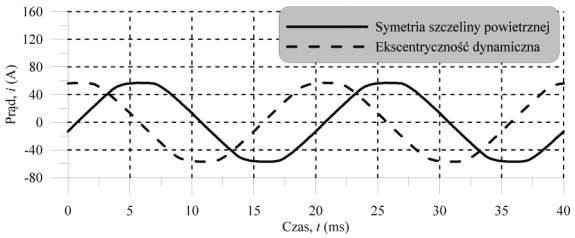
Badania laboratoryjne przeprowadzono w oparciu o układ pomiarowy przedstawiony na rysunku 9.



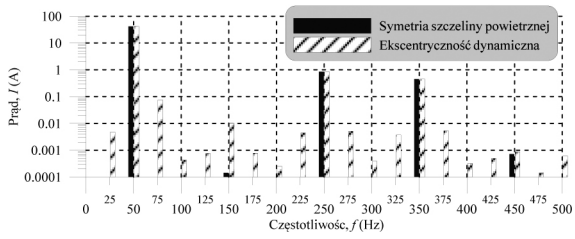
Rys. 5. Przebiegi czasowe prądu – symulacje komputerowe



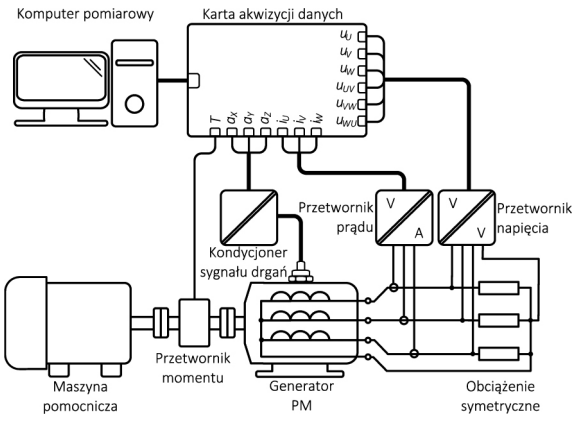
Rys. 6. Widma częstotliwościowe prądu – symulacje komputerowe



Rys. 7. Przebiegi czasowe prądu – symulacje komputerowe



Rys. 8. Widma częstotliwościowe prądu – symulacje komputerowe



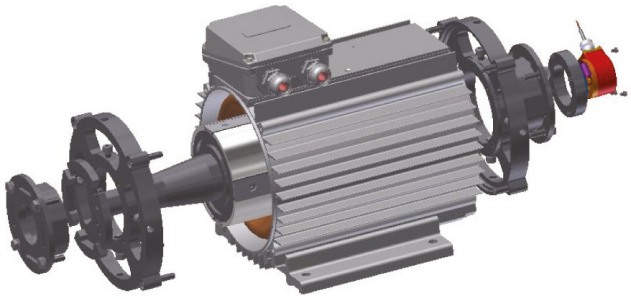
Rys. 9. Schemat pomiarowy

Tabela 1. Wartości skuteczne prądu dla poszczególnych harmonicznych

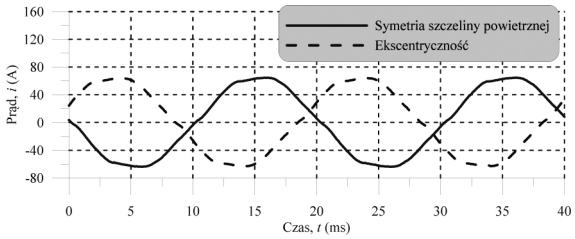
Składowa prądu	Symetria	Asymetria statyczna	Wzrost %
I_{75} (mA)	< 0,1	0,2	> 100
I_{150} (mA)	0,2	10,0	9800

Aby uzyskać asymetrię szczeliny powietrznej, zastosowano specjalne tarcze łożyskowe (rys. 10), które umożliwiają uzyskiwanie przesunięć między stojanem a wirnikiem w osiach x, y oraz z. Konstrukcja tarczy została opatentowana [3]. Tarcze umożliwiają zmiany geometrii w kierunkach x, y o ±2 mm, natomiast w kierunku z o ±10 mm od stanu symetrii.

Na rysunku 11 przedstawiono porównanie przebiegów czasowych prądu obciążenia dla symetrycznego oraz niesymetrycznego rozkładu szczeliny powietrznej w generatorze z magnesami trwałymi, pracującego w stanie obciążenia, oraz porównanie widm częstotliwościowych tych prądów – rysunek 12 oraz 13. W tabeli 3 umieszczono wartości skuteczne składowych prądu generatora PM, dla których przy asymetrii szczeliny powietrznej zaobserwowano wzrost wartości.



Rys. 10. Generator ze zmodyfikowanymi tarczami łożyskowymi



Rys. 11. Przebiegi czasowe prądu – badania laboratoryjne

reklama

HYDAC
KOMPLEKSOWE ROZWIĄZANIA
MCMS 2000
SYSTEM MONITOROWANIA STANU MASZYNY
• 2 KANAŁY WEJŚCIOWE DLA CZUJNIKÓW PRZYSPIESZENIA DRGAŃ (IEPE)
• 3 KANAŁY WEJŚCIOWE DLA CZUJNIKÓW HYDAC TYPU SMART (HSI SMART)
• ŁATWA INTEGRACJA Z SIECIĄ I SYSTEMAMI POPRZEZ ZŁĄCZE ETHERNET
• WYŚWIETLANIE, ANALIZA I ADMINISTRACJA DANYCH POMIAROWYCH POPRZEZ OPROGRAMOWANIE FLUMOS EXPERT
• 10 KANAŁÓW DLA CZUJNIKÓW ANALOGOWYCH
• WYSOKI STOPIEŃ OCHRONY – IP66
www.hydac.com.pl

Tabela 2. Wartości skuteczne prądu dla poszczególnych harmonicznych

Składowa prądu	Symetria	Asymetria dynamiczna	Wzrost %
I_{25} (mA)	< 0,1	4,8	> 4700
I_{75} (mA)	< 0,1	76,2	> 76100
I_{100} (mA)	< 0,1	0,4	> 300
I_{125} (mA)	< 0,1	0,8	> 700
I_{175} (mA)	< 0,1	0,8	> 700
I_{200} (mA)	< 0,1	0,3	> 200
I_{225} (mA)	< 0,1	4,4	> 4300
I_{275} (mA)	< 0,1	5,1	> 5000
I_{300} (mA)	< 0,1	0,4	> 300
I_{325} (mA)	< 0,1	3,7	> 3600
I_{375} (mA)	< 0,1	5,3	> 5200
I_{400} (mA)	< 0,1	0,3	> 200
I_{425} (mA)	< 0,1	0,5	> 400
I_{475} (mA)	< 0,1	0,2	> 100
I_{500} (mA)	< 0,1	0,6	> 500

Tabela 3. Wartości skuteczne prądu dla poszczególnych harmonicznych

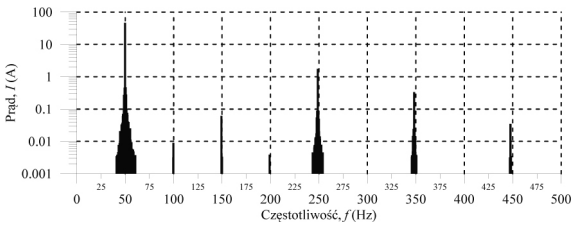
Składowa prądu	Symetria	Asymetria	Wzrost %
I_{75} (mA)	< 1,0	6,0	> 590
I_{125} (mA)	< 1,0	6,8	> 580
I_{200} (mA)	4,0	7,0	75
I_{225} (mA)	< 1,0	8,0	> 700
I_{300} (mA)	< 1,0	24,0	> 2 300
I_{325} (mA)	< 1,0	2,4	> 230
I_{375} (mA)	< 1,0	7,0	> 600

5. Podsumowanie

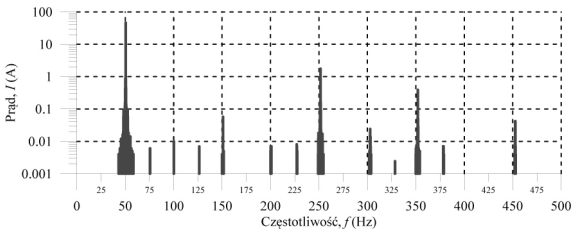
Wyselekcjonowane na podstawie analizy częstotliwościowej prądu obciążenia generatora częstotliwości potwierdzają, iż możliwe jest diagnozowanie asymetrii szczeliny powietrznej poprzez analizę prądu. Przedstawione wyniki symulacji komputerowych oraz badań laboratoryjnych pozwoliły autorowi na wyselekcjonowanie i opisanie równaniami matematycznymi (1), (2) poszczególnych częstotliwości, których wzrost stanowi swego rodzaju marker dla opisanego zjawiska [4].

$$f_{k1} = k \cdot f - \frac{(p-1)f}{p} \quad (1)$$

$$f_{k2} = 2k \cdot f \quad (2)$$



Rys. 12. Widmo częstotliwościowe prądu dla symetrycznej szczeliny powietrznej



Rys. 13. Widma częstotliwościowe prądu dla asymetrycznej szczeliny powietrznej

gdzie:

- f_{k1}, f_{k2} – szukane częstotliwości;
- p – liczba par biegunów;
- k – liczba naturalna;
- f – częstotliwość pierwszej harmonicznej.

Literatura

[1] Barański M., Decner A., Polak A.: *Selected Diagnostic Methods of Electrical Machines Operating in Industrial Conditions*. IEEE TDEI, 5/2014.

[2] Wolnik T., Glinka T.: *Asymetria obwodowa szczeliny powietrznej w tarczowym silniku indukcyjnym*. „Przegląd Elektrotechniczny" 7/2017.

[3] Barański M., Glinka T., Białas A., Będkowski B.: *Tarcza łożyskowa maszyny elektrycznej do stanowiska badawczego*. Patent, PAT.225062.

[4] Barański M.: *Problem drgań w generatorach wzbudzanych magnesami trwałymi przy pracy z asymetrycznym obciążeniem – analiza sygnałów własnych*. „Przegląd Elektrotechniczny" 11/2015.

Marcin Barański
Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Katowice

artykuł recenzowany

Zastosowanie algorytmu identyfikacji rezystancji wirnika do diagnostyki silnika indukcyjnego w czasie rzeczywistym

Szymon Bednarz, Mateusz Dybkowski

1. Wstęp

Silniki indukcyjne (SI) znajdują szerokie zastosowanie w wielu aplikacjach przemysłowych, często odgrywając kluczowe role w procesach technologicznych [8]. Podczas pracy w silniku indukcyjnym – tak jak w każdym innym urządzeniu – mogą wystąpić uszkodzenia, takie jak: zwarcia w uzwojeniu stojana, zniszczenie łożysk oraz pęknięte pręty i pierścienie zwierające w klatce wirnika [3, 5, 11]. Każde z wyżej wymienionych uszkodzeń powinno być wykryte w możliwie jak najkrótszym czasie, przez co możliwe jest uniknięcie dalszej degradacji maszyny lub współpracujących z nią podzespołów. Dzięki takim działaniom można ograniczyć straty finansowe oraz zwiększyć poziom bezpieczeństwa obsługi danego procesu. Wczesne wykrywanie uszkodzeń silników indukcyjnych stanowi pole badań dla wielu krajowych [4, 5, 9–12] oraz zagranicznych [1, 2, 3, 6] ośrodków naukowych.

Uszkodzenia wirnika stanowią około 10% wszystkich uszkodzeń występujących w silnikach indukcyjnych [3, 5, 11], jednak ich wczesne wykrywanie stanowi ważne zagadnienie. Obecnie stosuje się wiele technik pozwalających skutecznie realizować to zadanie. Między innymi metody oparte na analizie widmowej prądów fazowych stojana z wykorzystaniem Szybkiej Transformaty Fouriera (FFT) lub detektory neuronowe i układy oparte na logice rozmytej [3, 5].

Inne podejście, które po raz pierwszy zostało zaproponowane w [2], bazuje na założeniu, że uszkodzenia mogą objawiać się zmianami parametrów silnika. Degradacja prętów klatki wirnika może skutkować wzrostem rezystancji zastępczej wirnika. Zastosowanie tej techniki do wykrywania uszkodzeń wymaga zastosowania układów do identyfikacji parametrów schematu zastępczego silnika. W literaturze można spotkać się z zastosowaniem algorytmów offline bazujących na Metodzie Najmniejszych Kwadratów [2] lub programowaniu nieliniowym [1] oraz estymatorów pracujących online, opartych na Rozszerzonym Filtrze Kalmana [6, 12] lub Rozszerzonym Obserwatorze Luenbergera [4].

W niniejszym artykule przedstawiono zastosowanie algorytmu, pracującego w czasie rzeczywistym, do identyfikacji rezystancji wirnika, który bazuje technice MRAS (ang. *Model Reference Adaptive System*). Informacja o wartości rezystancji wykorzystywana została do wykrywania uszkodzeń prętów klatki wirnika. W artykule przedstawiono wyniki symulacji, które zrealizowano w środowisku MATLAB/Simulink, oraz wybrane wyniki eksperymentalne.

Streszczenie: W artykule omówiono możliwość wykrywania uszkodzenia prętów klatki wirnika silnika indukcyjnego z zastosowaniem techniki opartej na identyfikacji parametrów schematu zastępczego maszyny. Metodyka ta bazuje na założeniu, że wybrane uszkodzenia mogą objawiać się zmianami parametrów silnika, a ich identyfikacja w czasie rzeczywistym i obserwowanie tych zmian pozwala na wczesną identyfikację uszkodzenia. W pracy wykorzystano fakt, że w przypadku pęknięcia prętów klatki wirnika symptomem uszkodzenia jest wzrost rezystancji schematu zastępczego wirnika. Do odtwarzania tego parametru zastosowano estymator adaptacyjny z modelem odniesienia (MRAS). Badania silnika indukcyjnego przeprowadzono w układzie bezpośredniego sterowania polowo zorientowanego (DFOC). W artykule przedstawiono wyniki badań symulacyjnych oraz eksperymentalnych.

Słowa kluczowe: silnik indukcyjny, uszkodzenie wirnika, identyfikacja rezystancji wirnika, MRAS, DFOC

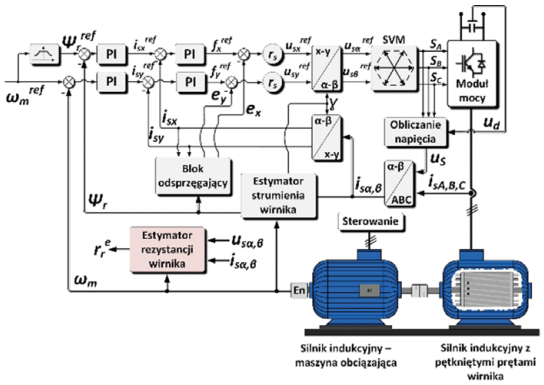
APPLICATION OF ROTOR RESISTANCE IDENTIFICATION ALGORITHM FOR REAL-TIME DIAGNOSTICS OF INDUCTION MOTOR

Abstract: *This paper deals with the broken rotor bars detection in squirrel-cage induction motor using parameter identification approach. This method is based on the assumption, that the chosen failures may result in motor parameters variations. Real-time identification and observation of parameters variation allows to incipient fault detection. Increase of the rotor resistance value may be a good fault symptom, in the case of rotor bar damage. In the paper, the rotor resistance estimator based on the model reference adaptive system (MRAS) is utilized. The induction motor is operating in the direct field-oriented control structure, under different conditions. In the paper simulation and experimental results are shown.*

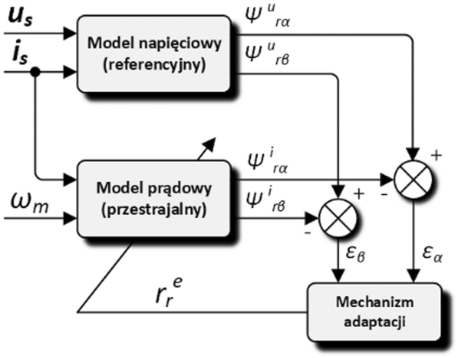
Keywords: induction motor, rotor fault, rotor resistance identification, MRAS, DFOC

2. Układ sterowania wektorowego dla silnika indukcyjnego

Biorąc pod uwagę fakt, że obecnie silniki indukcyjne coraz częściej zasilane są poprzez przemienniki częstotliwości,



Rys. 1. Bezpośrednia polowo zorientowana, wektorowa struktura sterowania dla silnika indukcyjnego



Rys. 2. Struktura estymatora rezystancji wirnika [14]

badania przeprowadzono dla silnika pracującego w wektorowej polowo zorientowanej strukturze sterowania DFOC (ang. *Direct Field-Oriented Control*). Analizowany układ sterowania przedstawiono na rys. 1.

Metoda sterowania polowo zorientowanego FOC umożliwia dokładną regulację momentu i/lub prędkości silnika indukcyjnego, dlatego znajduje zastosowanie w wielu aplikacjach przemysłowych. Idea jej działania została szczegółowo omówiona w [7] i [13]. Cechą charakterystyczną tej techniki jest to, że do prawidłowej pracy układu konieczna jest między innymi informacja o aktualnym położeniu i module wektora strumienia skojarzonego wirnika, który jest trudno mierzalnym sygnałem. Z tego powodu do jego odtwarzania wykorzystuje się estymatory zmiennych stanu [7]. Jednym z nich może być tzw. symulator/model prądowy. Jego model matematyczny wyrażony jest następująco:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{\psi}_{\mathbf{r}}^{\ i} = \frac{R_r}{L_r}\left(L_m\mathbf{i}_{\mathbf{s}} - \boldsymbol{\psi}_{\mathbf{r}}^{\ i}\right) + j\omega_m\boldsymbol{\psi}_{\mathbf{r}}^{\ i} \tag{1}$$

gdzie:
$\psi_r^{\ i}$ – wektor strumienia skojarzonego wirnika;
i_s – wektor prądu stojana;
ω_m – prędkość kątowa wirnika;
R_r, L_r, L_m – rezystancja i indukcyjność zastępcza wirnika, indukcyjność magnesująca.

W celu detekcji uszkodzeń prętów klatki wirnika układ sterowania został rozszerzony o dodatkowy estymator rezystancji wirnika, który pracuje równolegle (nie jest on wpięty do układu sterowania). Estymator ten, zaproponowany w [14], bazuje na technice MRAS, czyli jest to układ adaptacyjny z modelem odniesienia (rys. 2).

W estymatorze tym jako model odniesienia wykorzystywany jest tzw. symulator napięciowy strumienia wirnika, który charakteryzuje się niezależnością od rezystancji wirnika [7, 14]. Model ten opisany jest zależnością:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{\psi}_{\mathbf{r}}^{\ v} = \frac{L_r}{L_m}\left(\mathbf{u}_{\mathbf{s}} - \left(R_s + \sigma L_s\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\right)\mathbf{i}_{\mathbf{s}}\right) \tag{2}$$

gdzie:
$\psi_r^{\ v}$ – wektor strumienia skojarzonego wirnika;
u_s – wektor napięcia stojana;
R_s, L_s – rezystancja i indukcyjność zastępcza stojana,

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^{\ 2}}{L_s L_r}.$$

Modelem przestrajalnym jest symulator prądowy (1), który zależy od wartości tego parametru. Idea działania układu bazuje na minimalizacji błędów ε_α, ε_β wynikających z różnicy estymacji składowych strumienia między symulatorami:

$$\begin{cases}\varepsilon_\alpha = \psi_{r\alpha}^{v} - \psi_{r\alpha}^{i}, \qquad \varepsilon_\beta = \psi_{r\beta}^{v} - \psi_{r\beta}^{i}\end{cases} \tag{3}$$

gdzie:
indeksy u, i wskazują na wykorzystanie symulatora napięciowego i prądowego do odtwarzania strumienia wirnika.

Błędy te wykorzystuje się w algorytmie adaptacji, który opisany jest zależnością:

$$R_r^{est} = \int A_1 dt + A_2 \tag{4}$$

gdzie:

$$\begin{cases} A_1 = K_1\left[\left(\dfrac{-\psi_{r\alpha}^{i} + L_s i_{\alpha s}}{L_r}\right)\varepsilon_\alpha + \left(\dfrac{-\psi_{r\beta}^{i} + L_s i_{\beta s}}{L_r}\right)\varepsilon_\beta\right] \\ A_2 = K_2\left[\left(\dfrac{-\psi_{r\alpha}^{i} + L_s i_{\alpha s}}{L_r}\right)\varepsilon_\alpha + \left(\dfrac{-\psi_{r\beta}^{i} + L_s i_{\beta s}}{L_r}\right)\varepsilon_\beta\right] \end{cases} \tag{5}$$

Parametry K_1, K_2 są stałymi, niezerowymi współczynnikami.

3. Badania symulacyjne

W trakcie badań symulacyjnych wykorzystano obwodowy model matematyczny silnika indukcyjnego z uszkodzonymi prętami klatki wirnika, który został szczegółowo omówiony w [10]. W modelu tym uszkodzenie pręta powoduje wzrost wartości rezystancji wirnika, która dodatkowo posiada oscylacje zależne od stopnia uszkodzenia wirnika. Rezystancja ta powoduje modulację prądu wirnika i innych zmiennych stanu maszyny.

Badania przeprowadzono dla silnika indukcyjnego o 22 prętach, a jego dane znamionowe i parametry zestawiono w tabelach 1 i 2.

Podczas symulacji założono, że silnik pracuje ze stałą prędkością zadaną oraz momentem obciążenia. Symulowano całkowite pęknięcie prętów. Moment oraz liczbę uszkodzonych prętów przedstawiono na rys. 3 w postaci strzałek i odpowiednich wartości liczbowych. Algorytm identyfikacji rezystancji wirnika uruchamiano w czasie $t = 2$ s. Analizując wyniki z rys. 3, można zauważyć, że uszkodzenie prętów powoduje wzrost wartości rezystancji wirnika, a estymator poprawnie odtwarza jej wartość (uśredniając przebieg rzeczywisty).

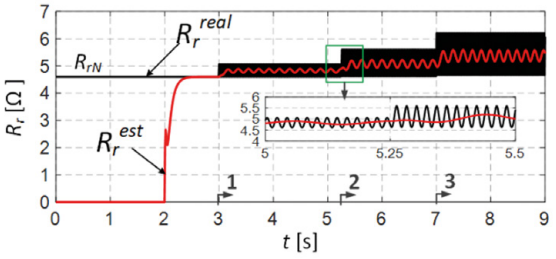
Ponadto można zauważyć, że uszkodzenie powoduje modulację prądu fazowego i_{sA} (rys. 4) oraz momentu elektromagnetycznego silnika (rys. 5 a), co w konsekwencji przekłada się na drgania maszyny.

Tabela 1. Dane znamionowe silnika indukcyjnego

Wielkość	P_N [kW]	U_N [V]	I_N [A]	n_N [rpm]	f_N [Hz]	p_b [Hz]
Wartość	1,1	220/380	5,0/2,9	1400	50	2

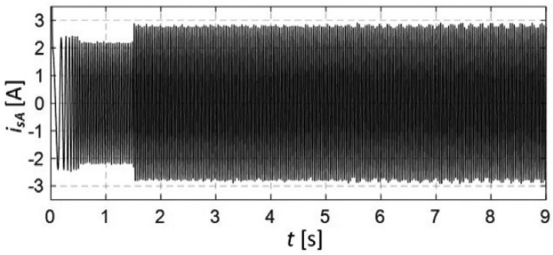
Tabela 2. Parametry schematu zastępczego silnika indukcyjnego

Wielkość	R_s	R_r	X_s	X_r	X_m
Wartość [Ω]	5,9	4,6	131,1	131,1	123,3

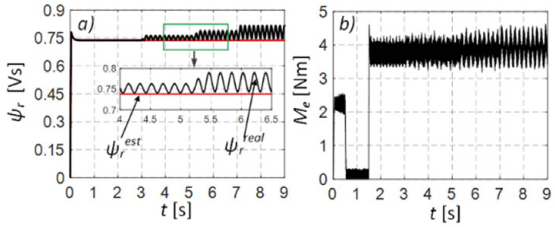


Rys. 3. Przebiegi rzeczywistej R_r^{real} i estymowanej R_r^{est} rezystancji wirnika podczas uszkodzenia prętów dla $n = 0{,}5n_N$ oraz $M_o = 0{,}5M_N$

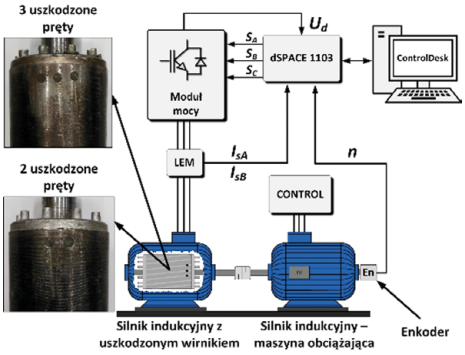
reklama



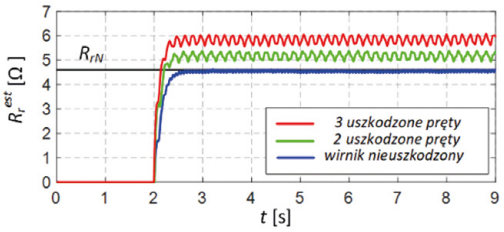
Rys. 4. Przebiegi prądu fazy *A* silnika indukcyjnego podczas uszkodzenia prętów dla $n = 0{,}5n_N$ oraz $M_o = 0{,}5M_N$



Rys. 5. Przebiegi estymowanego ψ_r^{est} i rzeczywistego ψ_r^{real} strumienia skojarzonego wirnika (a) oraz momentu elektromagnetycznego (b) podczas uszkodzenia prętów dla $n = 0{,}5n_N$ oraz $M_o = 0{,}5M_N$



Rys. 6. Schemat blokowy stanowiska eksperymentalnego



Rys. 7. Przebiegi rzeczywistej estymowanej R_r^{est} rezystancji wirnika podczas uszkodzenia prętów dla $n = 0{,}25n_N$ oraz $Mo = 0{,}5M_N$

Dodatkowym zjawiskiem, jakie można zaobserwować, jest błąd odtwarzania strumienia skojarzonego wirnika, który powstaje na skutek zmiany R_r. W układach sterowania wektorowego zjawisko to jest niepożądane, ponieważ może powodować nieprawidłowe działanie układu regulacji.

4. Badania eksperymentalne

Weryfikację eksperymentalną przeprowadzono na stanowisku wyposażonym w silnik z zestawem wirników, w których dokonano fizycznego uszkodzenia prętów klatki poprzez ich przewiercenie.

Silnik indukcyjny zasilany był poprzez falownik napięcia, którego algorytm sterowania DFOC został zaimplementowany w układzie do szybkiego prototypowania dSPACE 1103. Jako maszynę obciążającą zastosowano silnik indukcyjny sterowany z oddzielnego falownika napięcia. Schemat poglądowy stanowiska przedstawiono na rys. 6.

Badania przeprowadzono dla wirnika nieuszkodzonego oraz dla dwóch i trzech uszkodzonych prętów. Ponadto układ badano dla stałej prędkości kątowej wirnika oraz momentu obciążenia. Wyniki przedstawiono na rys. 7.

Można zauważyć, że wartość estymowanej rezystancji wirnika rzeczywiście wzrasta na skutek uszkodzenia prętów. Należy jednak zaznaczyć, że zmiany wartości tego parametru mogą również zachodzić na skutek nagrzewania się uzwojeń silnika. Jednakże charakter zmian temperaturowych w maszynie jest znacznie wolniejszy niż zmian, które mogą zachodzić wskutek nagłego uszkodzenia pręta klatki.

5. Podsumowanie

Podsumowując otrzymane wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych, można potwierdzić założenie, że rezystancja wirnika może zostać wykorzystana jako sygnał diagnostyczny do wykrywania uszkodzenia prętów klatki silnika indukcyjnego.

Zastosowanie tej techniki wymaga implementacji algorytmu identyfikacji rezystancji wirnika w czasie rzeczywistym. Struktura zaproponowanego estymatora adaptacyjnego bazuje na prostych, dobrze znanych symulatorach strumienia wirnika, dzięki czemu jego implementacja jest stosunkowo ława w realizacji i nie jest znacznym obciążeniem dla układu mikroprocesorowego.

Zmiany rezystancji wirnika na skutek uszkodzenia prętów klatki negatywnie wpływają na działanie układu napędowego, ponieważ powodują oscylację momentu elektromagnetycznego, a także błąd odtwarzania strumienia wirnika, co może przełożyć się na pogorszenie właściwości układu napędowego, dlatego wydaje się uzasadnione ich kompensowanie.

Literatura

[1] Bachir S., Tnani S., Trigeassou J.C., Champenois G.: *Diagnosis by parameter estimation of stator and rotor faults occurring in induction machines*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 3/2006.

[2] Cho K.R., Lang J.H., Umans S.D.: *Detection of broken bars in induction motor using state and parameter estimation*. IEEE Transactions on Industry Applications, 3/1992.

[3] Filipetti F., Bellini A., Capolino G.A.: *Condition monitoring and diagnosis of rotor faults in induction machines: state of art and future perspectives*. IEEE Workshop on Electrical Machines Design Control and Diagnosis (WEMDCD), Paris 2013.

[4] Kowalski Cz.T., Wierzbicki R.: *Zastosowanie rozszerzonego obserwatora stanu i parametrów do wykrywania uszkodzeń uzwojenia wirnika oraz stojana silnika indukcyjnego.* „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe" 84/2009.

[5] Kowalski Cz.T.: *Diagnostyka układów napędowych z silnikiem indukcyjnym z zastosowaniem metod sztucznej inteligencji.* Oficyna Wydawncza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.

[6] Nait Said M.S., Benbouzid M., Benchaib A.: *Detection of broken bars in induction motor using an Extended Kalman Filter for rotor resistance sensorless estimation.* IEEE Transactions on Energy Conversion, 1/2000.

[7] Orłowska-Kowalska T.: *Bezczujnikowe układy napędowe z silnikami indukcyjnymi.* Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.

[8] Orłowska-Kowalska T., Dybkowski M.: *Industrial drive systems. Current state and development trends.* „Power Electronics and Drives" 1/2016.

[9] Orłowska-Kowalska T., Kowalski Cz.T., Dybkowski M.: *Rotor fault analysis in the sensorless field oriented controlled induction motor drive.* „Automatika" 2/2010.

[10] Pawlak M., Orłowska-Kowalska T.: *Zastosowanie uproszczonego modelu dwuosiowego do modelowania uszkodzeń wirnika silnika klatkowego.* „Przegląd Elektrotechniczny" 10/2006.

[11] Szymaniec S.: *Badania, eksploatacja i diagnostyka zespołów maszynowych z silnikami indukcyjnymi.* Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2013.

[12] Wierzbicki R., Kowalski Cz.T.: *Wykrywanie uszkodzeń uzwojenia wirnika przekształtnikowego układu napędowego z silnikiem indukcyjnym.* „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe" 87/2010.

[13] Zawirski K., Deskur J., Kaczmarek J.: *Automatyka napędu elektrycznego.* Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2012.

[14] Agrebi Zorgani Y., Koubaa Y., Boussak M.: *Simultaneous estimation of speed and rotor resistance in sensorless ISFOC induction motor drive based on MRAS scheme.* Intenational Conference on Electrical Machines (ICEM), Rome 2010.

mgr inż. Szymon Bednarz,
e-mail: szymon.bednarz@pwr.edu.pl
dr hab. inż. Mateusz Dybkowski, prof. PWr,
e-mail: mateusz.dybkowski@pwr.edu.pl
Politechnika Wrocławska, Wydział Elektryczny
Katedra Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych

artykuł recenzowany

reklama

Aparaturowe aspekty pomiaru wyładowań niezupełnych maszyn elektrycznych. Część 1

Piotr Paduch, Sławomir Szymaniec

1. Wstęp

Według autorów, w przodujących ośrodkach naukowo-badawczych zajmujących się diagnostyką stanu izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych zauważyć można cztery kierunkowe obszary prac badawczych:

- prace nad opracowywaniem nowych konstrukcji czujników do pomiarów *wnz*;
- prace nad opracowaniem uniwersalnego analizatora *wnz* z ulepszonymi osiągami w zakresie tłumienia szumów i zakłóceń;
- prace nad opracowaniem urządzeń przenośnych, mobilnych;
- prace nad opracowaniem coraz to bardziej złożonych analizatorów, umożliwiających pomiary i analizę sygnałów *wnz* w bardzo szerokim zakresie czasu i częstotliwości; analizatory te umożliwiają wyznaczenie np. funkcji korelacji.

Nowo zaprojektowana aparatura spełnia najczęściej następujące wymagania:

- zastosowanie do różnego rodzaju urządzeń, maszyn wysokonapięciowych (WN);
- duże tłumienia różnego rodzaju szumów, zakłóceń;
- szeroki zakres dynamiki, np. 80 dB;
- możliwość pracy w trybie offline i online;
- łatwy i przyjazny dla użytkownika interfejs oprogramowania;
- w miarę rozsądna cena produktu.

Procesy degradacji izolacji są związane z przemianami w strukturze materiałów izolacyjnych. Są to przemiany fizyczne występujące na poziomie molekularnym, przemiany chemiczne, dekompozycja materiału, rozwarstwienie i pękanie materiału, deformacje, powstające szczeliny powietrzne, zerwanie mechanizmu ciągłości izolacji itd. [3, 4, 6, 7, 9, 13]. Jak wykazują badania [14, 18, 19, 20, 21, 23], zjawiskom tym towarzyszą wyładowania niezupełne – *wnz* (PD – *Partial Discharge*). Diagnostyka stanu izolacji uzwojeń oparta o pomiar *wnz*, nosi nazwę skrótową PD diagnostyki. Metody te są stosunkowo nowe i w świecie zachodnim coraz częściej stosowane [14, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 30, 32, 33]. W kraju można spotkać pojedyncze przypadki ich stosowania [2, 6, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 24, 25, 30, 31, 32, 33].

Wyładowania niezupełne są wyładowaniami występującymi wewnątrz układu izolacyjnego, które tylko częściowo zwierają izolację między przewodnikami. Mogą być przyległe lub nie do przewodnika [8, 9, 18, 21, 22, 23]. Są one ogólnie uważane za wyładowania lokalne w izolacji i w wielu przypadkach ze znacznym wyprzedzeniem poprzedzają całkowite przebicie [8, 9, 10, 11, 18, 21, 22, 23, 24, 25]. Zagadnienie wykorzystania *wnz* do diagnostyki stanu izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych offline jest przedstawione w literaturze [1, 2, 6, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 24, 25, 30, 31, 32, 33]. Jak do tej pory nie ma polskiej normy dotyczącej *wnz* w izolacji uzwojeń silników. W ocenie autorów jednolitych norm w tym zakresie nie ma również na świecie. Znane światowe firmy produkujące uzwojenia maszyn elektrycznych stosują własne fabryczne normy, wprowadzając kryteria dotyczące intensywności *wnz* głównie dla uzwojeń generatorów. W kraju Instytut Energetyki w Poznaniu doprowadził do wprowadzenia krajowych kryteriów diagnozowania układów izolacyjnych prętów generatorów przez pomiar intensywności *wnz* metodą offline [2, 30, 31, 32]. *Wnz* w układzie izolacyjnym towarzyszą różne zjawiska fizyczne, których obserwacja i pomiary mogą być wykorzystane do detekcji *wnz* i następnie do wyznaczenia wartości parametrów opisujących *wnz*. Zjawiskami tymi są między innymi [1, 2, 6, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 24, 25, 30, 31, 32, 33]:

- występowanie impulsu prądowego;
- emisja fal elektromagnetycznych;
- zmiany strat dielektrycznych;
- reakcje chemiczne;
- udarowe odkształcenia sprężyste i towarzysząca im emisja fali akustycznej.

EQUIPMENT ASPECTS OF ELECTRIC MACHINE DIAGNOSTICS BASED ON A PD. PART I

Abstract: *Operation of electric machines is accompanied by partial discharges. Partial discharges have a very complex nature. Together with progressing use of machines, there is a change in the intensity of partial discharges with typical phase-resolved distributions. The diagnostics can be carried out using available partial charge detectors. The author's solutions regarding detectors and devices for measurements of partial discharges in electric machines in industrial conditions have proved to be successful. Results of measurements of partial discharges in motors depend on: the condition of their insulation, motor load, temperature of windings, humidity, level of external interference, and characteristics of partial discharge detectors and partial discharge analysing devices.*

Keywords: insulation diagnostics of the high voltage electric machines

1.1. Pomiary wnz – rys historyczny

Historia rozwoju tzw. *PD* diagnostyki jest dosyć długa i istnieje na ten temat duża ilość publikacji [1, 2, 6, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 24, 25, 30, 31, 32, 33]. Niełatwe jest zwięzłe przedstawienie szczegółowej chronologii rozwoju badań tego zjawiska. Początki badań sięgają 1777 roku, kiedy LICHTENBERG przeprowadzał eksperymenty w Royal Society w Getyndze. Używał elektroforu, czyli generatora ładunków wynalezionego przez Aleksandra VOLTĘ, do elektryzowania cząstek pyłu [14]. W 1873 roku James Maxwell opublikował *Traktat o elektryczności i magnetyzmie*, który ma fundamentalne znaczenie dla projektowania detektorów *PD*, jak i rozwoju modeli fizycznych *PD*, co ułatwiło lepsze zrozumienie tego zjawiska [14]. Istotny przełom w badaniach *PD* to lata dwudzieste XX wieku, kiedy SCHERING w 1919 r. zbudował mostek pomiarowy i użył go w 1924 roku do pomiarów. W 1925 roku SCHWAIGER odkrył, że wyładowania koronowe powodują zakłócenia częstotliwości radiowych i dzięki temu można dokonać detekcji *PD*. Ten prosty test nazywa się Radio Interference Voltage (RIV) [14]. Znaczny postęp w detekcji wyładowań nastąpił w momencie, kiedy pojawiły się oscyloskopy. W 1928 roku LLOYD i STARR zastosowali kondensator i oscyloskop do detekcji *PD*. Sposób ten umożliwił szerokopasmowy pomiar wyładowań koronowych, tzw. metoda parallelogramu [14]. Również w 1928 roku BYRSTLYN stworzył schemat zastępczy dla wyładowania niezupełnego dla prądu przemiennego. Prace kontynuowali w 1932 roku GEMANT i FHILIPPOFF [14]. W 1936 r. ARMAN i STARR wykorzystali wąskopasmowe wzmacniacze oparte o obwody rezonansowe [14]. W 1954 roku stały się dostępne pierwsze przenośne detektory *PD*, zaprojektowane przez MOLE'A, który później (w 1970 roku) opracował pierwsze wytyczne dotyczące kalibratora *PD*. W 1960 r. DAKIN i MALINARIC zbudowali scalony mostek używany do badań *PD* [14]. W 1966 roku BAILEY oszacował czas trwania *PD* impulsów na kilka nanosekund i ich wpływ na pojemność dielektryka. Potwierdzono to w 1981 roku – prace FUJIMOTO i BOGGSA, jak również w 1982 roku prace BOGGSA i STONE'a – wykorzystanie szerokopasmowego oscyloskopu (pasmo do 1 GHz) [14]. W 1976 roku dr LEMKE zmodyfikował układ, zwiększając jego czułość. Zaprojektował również jeden z pierwszych detektorów szerokopasmowych, gdyż do lat osiemdziesiątych ub.w. używano detektorów w paśmie do 1 MHz. Wykorzystał w nich szerokopasmowe przedwzmacniacze impulsów *PD* (do częstotliwości 10 MHz). Umożliwiło to detekcję i lokalizację wyładowań, a także wyeliminowanie szumów i zakłóceń. Nie było wątpliwości, że pomiary *PD* w zakresie wysokich częstotliwości były znacznie bardziej efektywne [14]. W 1978 roku TANAKA i OKAMOTO stworzyli komputerowy system do analizy *PD* [14].

Szumy elektromagnetyczne zawsze zakłócały pomiary *PD*.

W 1973 roku OKAMOTO poruszył zagadnienie tłumienia szumów przy pomiarach *PD*. W tym samym roku PRAEHAUSER analizował zdolność zrównoważonego mostka do eliminacji szumów [14]. W roku 1975 BLACK zaprezentował system dyskryminatora impulsów PD w silnie zaszumionym środowisku [14]. W późniejszym okresie temat szumów obejmował:

- technikę uśredniania pomiarów;
- technikę korelacji;
- technikę filtrów pasywnych, aktywnych i adaptacyjnych;
- technikę dyskryminatorów okienkowych.

Burzliwy rozwój elektroniki, a szczególnie techniki mikroprocesorowej, spowodował że pomiary wyładowań stały się bardziej dokładne.

1.2. Diagnostyka i monitoring izolacji uzwojeń

Monitorowanie i pomiary stanu izolacji maszyn elektrycznych stały się w ostatnich latach podstawą procedur zapewniających ich bezawaryjną pracę. Nabrało to szczególnego znaczenia, kiedy w przemyśle i energetyce zaczęto powszechnie stosować do zasilania maszyn wysokie napięcia (WN). Wymusiło to zwrócenie uwagi na zjawisko wyładowań niezupełnych – nie powodującego natychmiastowego zniszczenia izolacji, ale poważnie pogarszającego jej jakość. Na podstawie licznych obserwacji i badań *wnz* stwierdzono, że nasilająca się ich częstotliwość, moc i ilość miejsc występowania mogą w niedługim czasie, przy sprzyjających warunkach (temperatura, wilgotność), doprowadzić do trwałego uszkodzenia izolacji, a w efekcie do awarii [1, 2, 6, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 24, 25, 30, 31, 32, 33]. Konieczne stało się zatem konstruowanie urządzeń umożliwiających diagnozowanie izolacji i pomiar parametrów wyładowań niezupełnych. W krótkim czasie powstało wiele, mniej lub bardziej udanych, konstrukcji tzw. analizatorów *PD*, współpracujących z różnego rodzaju detektorami wyładowań. Ich funkcjonalność do dzisiejszego dnia jest proporcjonalna do ceny. Współczesne analizatory wyładowań niezupełnych umożliwiają kompleksową analizę stanu izolacji maszyn elektrycznych. Niestety koszt ich zakupu jest jeszcze bardzo duży i mogą sobie na nie pozwolić zamożne firmy specjalizujące się w tego typu pomiarach. Do współpracy z analizatorami niezbędne są również detektory (czujniki) wyładowań niezupełnych, których koszt też bywa bardzo duży. W dalszym ciągu brak na rynku prostych, przystępnych cenowo wskaźników wyładowań (czujników, mierników, analizatorów), które w dużym stopniu ułatwiłyby wstępną diagnozę stanu izolacji maszyn elektrycznych w przemyśle i energetyce. W niniejszym artykule wykazano, że jest możliwe opracowanie i wykonanie niskokosztowych, czujników *wnz* dla maszyn elektrycznych WN pracujących w warunkach przemysłowych oraz układów służących do ich kalibracji. Opracowana i wykonana aparatura umożliwia wykonanie pomiarów offline i online stanu izolacji uzwojeń maszyn. Podstawowym wymaganiem wobec czujników, od których zaczyna się elektryczny tor pomiarowy, powinny być prostota konstrukcji, łatwy montaż i obsługa. Mogłyby one stać się tanim i powszechnym elementem toru pomiarowego *wnz* i zapewnić prawidłową i skuteczną detekcję *wnz* zarówno w warunkach pracy online, jak i podczas postojów i zaplanowanych remontów offline, a co za tym idzie – umożliwić nieustanny monitoring i kontrolę stanu izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych w przemyśle i energetyce krajowej. W artykule opisano w szczególności antenowe czujniki *wnz* stacjonarne i mobilne w oparciu o stosowane w maszynach elektrycznych czujniki do pomiaru temperatury – termorezystory typu RTD (z ang. *Resistance Temperature Detector*), np. PT100 w wersji pasywnej i aktywnej. Opracowane i wykonane czujniki, impedancje

pomiarowe, kalibratory i aparatura pomiarowa spełniają wymagania stosowanych norm dotyczących pomiarów *wnz* [12, 17], w szczególności umożliwiają pomiary *wnz* maszyn elektrycznych w warunkach przemysłowych, to znaczy w warunkach zakłóceń przemysłowych i przy występujących w praktyce uwarunkowaniach środowiskowych.

1.3. Tor pomiarowy elektrycznego pomiaru wnz

Elektryczny pomiar *wnz* jest w praktyce przemysłowej najczęstszym pomiarem *wnz*.

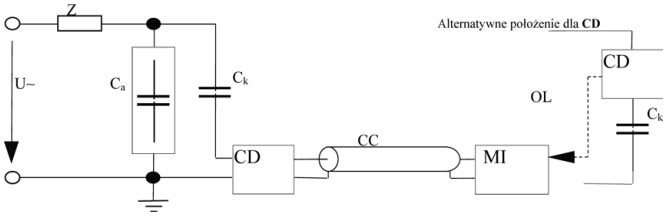
Charakterystyka toru pomiarowego wg normy IEC60270 [17]

Na rys. 1 a, b, c, d przedstawiono układy pomiarowe *wnz* według normy IEC60270 [17, 34]. Podczas pomiarów bezpośrednich (*straight detection*) impedancję pomiarową *CD* łączy się często szeregowo z kondensatorem sprzęgającym C_k, co zabezpiecza urządzenie pomiarowe przed przebiciem. Nieco większą czułość uzyskuje się w układzie pomiarowym, w którym impedancja pomiarowa jest połączona z obiektem. Wynika to z faktu, że do kondensatora C_k dodają się pojemności rozproszenia (rys. 1 a, b). Pomiary bezpośrednie są jednak narażone na zakłócenia zewnętrzne. Szerokie widmo impulsu wyładowania, mogące zawierać się w przedziale od kilkuset kHz do jednego MHz umożliwia stosowanie pomiarów z zastosowaniem systemu tzw. „quasi-całkowania" [17, 26–29, 34]. Praktycznie, ze względu na wykorzystywanie do całkowania aktywnych filtrów pasmowych, wykorzystuje się dwa rodzaje układów pomiarowych – szerokopasmowe i wąskopasmowe. Znacznie lepsze efekty w tłumieniu zakłóceń można uzyskać w układzie mostkowym (*balanced detection*) (rys. 1 c), w którym impedancja pomiarowa składa się z dwóch części równoważonych oddzielnie i połączonych z masą. Największe tłumienie zakłóceń osiąga się w przypadku, gdy układ jest symetryczny, tzn. $C_a = C_k$ [8]. Szerokie widmo impulsu wyładowania, spektrum mogące zawierać się od kilkuset kHz do jednego MHz umożliwia stosowanie pomiarów z zastosowaniem systemu tzw. „quasi całkowania" [17, 26–29, 34]. Praktycznie, ze względu na wykorzystawanie do całkowania aktywnych filtrów pasmowych, wykorzystuje się dwa rodzaje układów pomiarowych – szerokopasmowe i wąskopasmowe. W układzie szerokopasmowym impedancja pomiarowa zawiera układ równoległy *RLC*, w którym na *L* składa się dopasowujący transformator w. cz., galwanicznie oddzielający obwód wysokiego napięcia. Natomiast do pojemności *C* dołączona jest równolegle pojemność przewodu łączącego impedancję z układem pomiarowym (rys. 2) [26, 27, 28]. W takiej konfiguracji impulsy prądowe wyładowań niezupełnych są niewrażliwe na zmiany parametrów pojemności sprzęgającej C_k i obiektu badanego C_a. Pojemności te rozpatruje się jako szeregowe połączenie C_k i C_a, równoległe do pojemności *C* impedancji (2), która stanowi filtr selektywny o częstotliwości rezonansowej [26]:

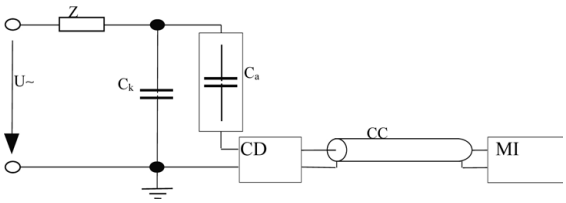
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC^*}} \tag{1}$$

gdzie: *L* i *C** – indukcyjność i pojemność impedancji sprzęgającej [244]:

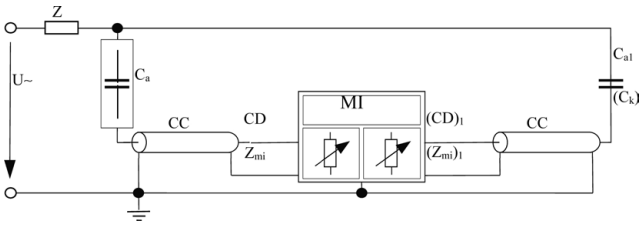
a. Układ bezpośredni z szeregowym kondensatorem sprzęgającym [34]



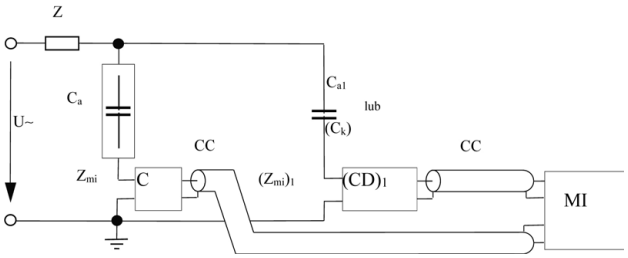
b. Układ bezpośredni z szeregowo połączonym obiektem [34]



c. Układ mostkowy [34]



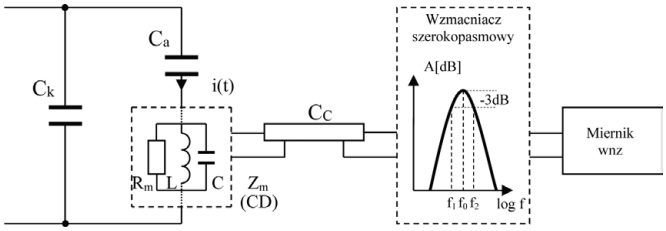
d. Układ z detekcją polaryzacji [34]



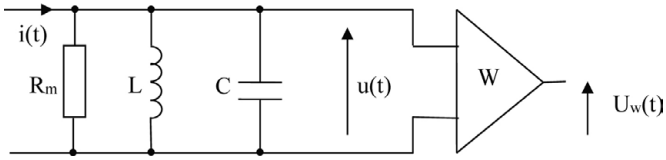
Rys. 1. Podstawowe układy pomiarowe *PD* wg IEC60270 [34], gdzie:
U~ – sieć zasilająca;
Z_{mi} – impedancja wejściowa systemu pomiarowego;
CC – przewód połączeniowy;
OL – połączenie optyczne;
C_a – badany obiekt;
C_k – kondensator sprzęgający;
CD – impedancja pomiarowa – sprzęgająca (*coupling device*);
MI – urządzenie pomiarowe
Z – filtr

$$C^* = C_C = \frac{C_a C_k}{(C_a + C_k)} \tag{2}$$

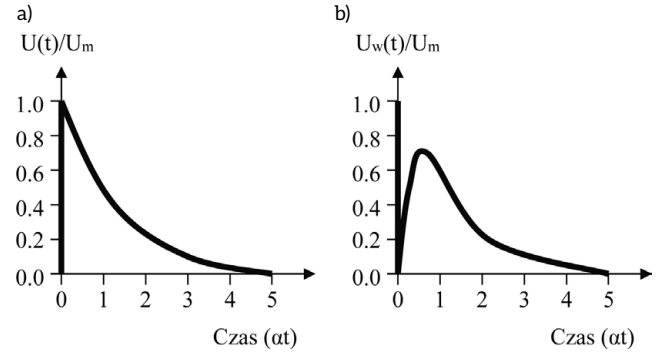
Proporcjonalnie do dobroci obwodu *LC* niepożądane częstotliwości harmoniczne mniejsze od f_1 (dolna częstotliwość graniczna) i większe od f_2 (górna częstotliwość graniczna) są tłumione. W układach szerokopasmowych częstotliwości



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego w systemie szerokopasmowym [26]



Rys. 3. Schemat zastępczy impedancji pomiarowej Z_m ze wzmacniaczem W [6]



Rys. 4. Napięcie na wejściu wzmacniacza (a) i na wyjściu (b) – $L = 0$, $\tau_w = 0{,}3/\alpha$ [6]

graniczne określane są spadkiem wzmocnienia o 3 dB. Odpowiedzią układu na impuls prądowy *wnz* jest dobrze tłumiona oscylacja [26, 27, 28]. Schemat zastępczy impedancji pomiarowej, w dalszej części nazywanej też Z_m, z wyjściem na wzmacniacz przedstawia rysunek 3 [64]. Pobudzenie układu impulsem prądowym *i(t)* spowoduje, że napięcie wejściowe wzmacniacza *u(t)* można opisać zależnością [6]:

$$u(t) = \frac{q_m}{c} e^{-at} \left[\cos\omega t - \frac{\alpha}{\omega} \sin\omega t\right] \tag{3}$$

gdzie:
q_m – ładunek impulsu;

$\alpha = \frac{1}{2R_mC}$ – współczynnik tłumienia (przy założeniu dobroci Q<1);

$\omega = \sqrt{\omega_0 - \alpha^2}$ – pulsacja drgań własnych;

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ – pulsacja rezonansowa LC.

Jeżeli założymy dużą dobroć obwodu i współczynnik tłumienia $\alpha << \omega$, można zależność (3) uprościć do [6]:

$$u(t) = \frac{q_m}{c} e^{-at} \cos\omega_0 t \tag{4}$$

W przypadku, gdy $Z_m \approx R_m$ *u(t)* będzie aperiodycznym impulsem wykładniczym [6]:

$$u(t) = U_m e^{-at} \tag{5}$$

gdzie:

$\alpha = \frac{1}{R_mC}$ – współczynnik tłumienia,

Dla $U_m = \frac{q_m}{c} t = 0$.

Dla wzmacniacza o paśmie ograniczonym napięcie wyjściowe $U_w(t)$ można opisać [6]:

$$U_w(t) = \frac{U_m}{1 - \alpha\tau_w} [e^{-at} - e^{-t/\tau_w}] \tag{6}$$

$\tau_w = R_wC_w$ zastępcza stała czasowa wzmacniacza (rys. 4).

Dla różnych wartości pulsacji ω, w stosunku do stałej wartości współczynnika α, napięcie *u(t)* jest proporcjonalne do ładunku pozornego. Istotnym parametrem w przypadku różnych układów detekcji jest rozdzielczość czasowa impulsów. Jest ona potrzebna do rejestracji amplitudy następujących po sobie impulsów. Określa ją tzw. czas rozdzielczy τ_r, który definiuje się jako czas, po którym wartość sygnału spadnie do 10% wartości szczytowej [6, 26, 27, 28]. Typowa rozdzielczość w paśmie od 40 do 400 kHz wynosi 5–9 μs [6]. W międzynarodowej normie IEC60270 [17] pasmo częstotliwości dla pomiarów szerokopasmowych określa się przy spadku wzmocnienia o 6 dB, natomiast w dotychczasowej polskiej normie PN-86/E-04066 określano ją przy spadku wzmocnienia o 3 dB. W normie IEC60270 pasmo pomiarowe dla pomiarów szerokopasmowych definiuje się następująco [34]:

- dla dolnej częstotliwości granicznej

$$f_1: 30 \text{ kHz} \le f_1 \le 100 \text{ kHz} \tag{7}$$

- dla górnej częstotliwości granicznej

$$f_2: f_2\ 500 \text{ kHz} \tag{8}$$

- dla wyznaczonego pasma

$$\Delta f: 100 \text{ kHz} \le \Delta f \le 400 \text{ kHz} \tag{9}$$

System pomiaru *wnz* wąskopasmowy charakteryzuje się szerokością pasma filtru aktywnego w granicach kilku do kilkunastu kHz. Zasadę działania ilustruje rys. 5 [24, 25]. W przyrządach pomiarowych o systemie wąskopasmowym częstotliwość rezonansowa i szerokość może być nastawiana płynnie od kilkudziesięciu kHz do kilku MHz [26, 27, 28]. Impedancja pomiarowa Z_m stanowi dla impulsów prądowych wyładowania filtr górnoprzepustowy, a jej mała rezystancja powoduje, że impulsy nie są całkowane. Pojemność przewodu C_C jest zwarta falową impedancją Z_0. Napięcie podawane na wzmacniacz selektywny jest proporcjonalne do impulsu prądowego *i(t)*. Układ nie rozróżnia jednak polaryzacji impulsów [26, 27, 28]. W normie IEC60270 pasmo pomiarowe dla pomiarów wąskopasmowych definiuje się następująco [34]:

- szerokość pasma

$$\Delta f: 9\ \text{kHz} \le \Delta f \le 30\ \text{kHz} \tag{10}$$

- częstotliwość środkowa

$$f_m: 50\ \text{kHz} \le f_m \le 1\ \text{MHz} \tag{11}$$

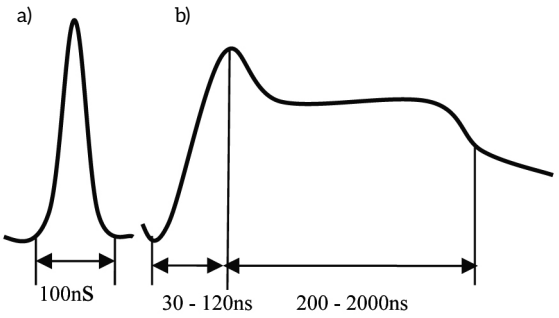
Detekcja wąskopasmowa wykorzystywana jest w miernikach zakłóceń RDV (*Radio Disturbance Voltage*) i cechuje się małą rozdzielczością przy małej odporności na zakłócenia impulsowe. W obu systemach pomiarowych wskazana jest jednak kontrola oscyloskopowa. Istnieją bowiem zagrożenia niekontrolowanych uchybów pomiarowych, wynikających z dopuszczalnego czasu trwania impulsów *wnz* (szczególnie dotyczy to systemu wąskopasmowego, w którym czas zanikania impulsu jest stosunkowo długi). Czas ten jest określony przez górną częstotliwość pasma f_2 w przypadku systemu szerokopasmowego lub f_m – średnią częstotliwość dla systemu wąskopasmowego [26, 27, 28]. Duże znaczenie przy pomiarach ma również kształt mierzonego impulsu wyładowczego [12, 26, 27, 28]. Wynika on bezpośrednio z mechanizmu *wnz* i przy wyładowaniach we wtrącinach gazowych ma zwykle kształt trójkąta o podstawie do 100 ns – rys. 5 a [12, 26, 27, 28].

Wyładowania we wtrącinach o większej średnicy mogą mieć kształt prostokątny o czasie trwania ok. 1 µs lub dłuższym (wyładowania w oleju) – rys. 5 b [12].

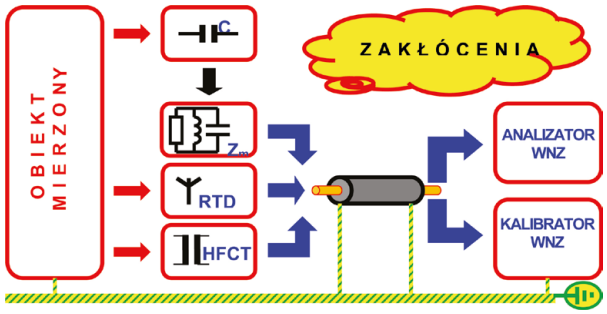
Istnieje wtedy niebezpieczeństwo wystąpienia błędów na skutek np. nasycenia się wzmacniaczy, gdyż większość przyrządów pomiarowych prawidłowo mierzy krótkie impulsy [12, 26, 27, 28]. Stopień zniekształcenia przebiegów impulsów na wyjściu wzmacniacza szerokopasmowego lub wąskopasmowego decyduje o rozdzielczości przyrządu pomiarowego – określa się go tzw. czasem lub okresem rozdzielczym T_r. Jest to okres czasowy, w którym zachodzi jeszcze prawidłowy pomiar ładunku *q*. Podawana jest także przez producentów maksymalna częstotliwość powtarzania impulsów *wnz* [12, 26, 27, 28]:

$$n_r = \frac{1}{T_r} \tag{12}$$

Prawidłowość pomiaru będzie zachowana, jeżeli czas trwania T_t odpowiedzi miernika wyładowań będzie mniejszy od



Rys. 5. Kształt oscylogramów prądów *wnz* [12, 26, 27, 28]: a – typowy (trójkątny) we wtrącinie; b – we wtrącinie o dużej średnicy (>5 mm) po czasie przyłożenia napięcia >30 min



Rys. 6. Poglądowy schemat elektrycznego toru pomiarowego wyładowań niezupełnych [12]

czasu rozdzielczego T_r (1,5–3 razy) [12, 26, 27, 28]. Bardziej rozbudowane analizatory i mierniki wyładowań niezupełnych umożliwiają jednoczesny pomiar parametrów *wnz* i podgląd oscyloskopowy przebiegów. Pozwala to odróżnić *wnz* od zakłóceń i potwierdzić prawidłowość pomiaru.

Podstawowe elementy toru pomiarowego

Do podstawowych elementów toru pomiarowego należy zaliczyć:

- obiekt badany;
- czujniki *wnz*;
- impedancję pomiarową;
- przewody połączeniowe;
- kalibratory *wnz*;
- analizatory *wnz*.

Schemat poglądowy elektrycznego toru pomiarowego wnz przedstawia rys. 6.

Obiekt mierzony

Z punktu widzenia niniejszego artykułu obiektem mierzonym jest uzwojenie silnika lub stojana generatora, a w zasadzie jego izolacja. Silnik, w którym zainstalowano czujniki RTD typu PT100, oprócz tradycyjnych sprzęgaczy pojemnościowych i impedancji pomiarowej, umożliwia zastosowanie do pomiarów przekładników wysokoczęstotliwościowych HFCT lub cewek Rogowskiego.

Literatura

[1] ADWEL: *PD monitoring*. Nota Aplikacyjna 2003.

[2] Andrzejewski K., Tułodziecka E.: *Analiza intensywności wyładowań niezupełnych prototypowego układu izolacyjnego VPI stojana hydrogeneratora 200 MW 15,75 kV*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne" 64/2002.

[3] Bertenshaw D., Sasic M.: *On-line Partial Discharge Monitoring on MV motors-Casestudies on Improved Sensitivity Couplers*. Nota Aplikacyjna firmy ADWEL International Canada, 2002.

[4] Blokhintsev, Golovkov M., Golubev A., Kane C.: *Field Experiences on the Measurement of Partial Discharges on Rotating Equipment*, IEEE PES'98, February 1–5, Tampa.

[5] DIMRUS: *Analizator R2200,* nota aplikacyjna, dokumentacja 2011.

[6] Florkowska B, Florkowski M., Włodek R., Zydroń P.: *Mechanizmy, pomiary i analiza wyładowań niezupełnych w diagnostyce układów izolacyjnych wysokiego napięcia*. Wyd. IPPT PAN, Warszawa 2001.

[7] Flisowski Z.: *Technika wysokich napięć*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1988.

[8] Golubev A, Paoletti G.: *Partial Discharge Theory and Technologies related to Medium Voltage Electrical Equipment*. 2000 IEEE. Reprinted, with permission, from Paper 99–25 presented at the IAS 34th Annual Meeting, Oct 3–7, '99, Phoenix, AZ.

[9] Gulski E.: *Diagnozowanie wyładowań niezupełnych w urządzeniach wysokiego napięcia w eksploatacji*. Wyd. Polit. Warszawskiej, Warszawa 2003.

[10] Kandora W.: *Diagnostyka offline izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych wykonanych w technologii Resin-Rich*. Rozprawa doktorska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Politechnika Opolska, Opole 2012.

[11] Kandora W., Szymaniec S.: *Badania i diagnostyka offline izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych wykonanych w technologii Resin-Rich*. Oficyna. Wydawnicza. PO, Studia i Monografie, Politechnika Opolska z. 439, Opole 2016.

[12] Paduch P.: *Aparaturowe aspekty diagnostyki izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych*. Rozprawa doktorska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Politechnika Opolska, Opole 2017.

[13] Paoletti G., Golubev A.: *Partial Discharge Theory and Applications to Electrical Equipment, Diagnostics.* Cutler-Hammer Engineering Services 2001.

[14] *PD diagnostics – its history and future, PD Workshop,* Alexandria, Virginia, December 3&4 2001.

[15] Plutecki Z.: *Analiza wpływu mikroklimatu na emisję wyładowań niezupełnych maszyn elektrycznych w warunkach przemysłowej eksploatacji.* Studia i Monografie z. 325. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2012.

[16] Plutecki Z., Szymaniec S.: *An analysis of the influence of microclimate on partial discharge emissions of electric machines in the conditions of industrial operation – own research*. Archives of Electrical Engineering, No 4, 2013., pp. 629–648.

[17] PN-EN 60270. *Wysokonapięciowa technika probiercza. Pomiary wyładowań niezupełnych*.

[18] Русов В.А.: Измерение частотных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования. Издательство УрГУПС 620034, Екатеринбург 2011.

[19] Russwurm D.: *On-Site Partial Discharge Minitoring Rusing the differentia Lemke Probe LDP-5 and its accessories*. HV Testing, Monitoring and Diagnostics Workshop 2000.

[20] Rux L.M., Bertenshaw D.R.: *Assessing the condition of rotating machines stator winding insulation using the ramped direct high-voltage method*. INSUCON 2002,18–20 June 2002, Berlin.

[21] Sasic M., Bertenshaw D.: *On-line Partial Discharge Monitoring on MV Motors – Case Studies on Improved Sensitivity Couplers and Interpretation Methods*, SDEMPED, ITALY 1-3 Sept. 2001 pp.1-5.

[22] Sasic M.: *Partial discharge measurement on rotating machines*. 9th National Congress of Electric Rotating Machinery September 29 to October 2, 1999, Veracruz, Mexico.

[23] Stone G.C., Boulter E.A., Culbert I., Dhirani H.: *Electrical insulation for rotating machines*. IEEE PRESS series on Power Engineering, USA, 2004.

[24] Szymaniec S.: *Diagnostyka stanu izolacji uzwojeń i stanu łożysk silników indukcyjnych klatkowych w warunkach przemysłowej eksploatacji*. Studia i Monografie z. 193, Wyd. Politech. Opolskiej, Opole 2006.

[25] Szymaniec S.: *Badania, eksploatacja i diagnostyka zespołów maszynowych z silnikami indukcyjnymi klatkowymi.* Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Studia i Monografie, zeszyt 333, Opole 2013.

[26] Tettex Information 310: *Technika pomiaru wyładowań niezupełnych.*

[27] Tettex Information 311: *Pomiary wyładowań niezupełnych. Problemy i możliwości ich rozwiązania z pomocą uniwersalnego systemu pomiarowego.*

[28] Tettex Instruments: *Ultrasonic partial discharge detector 925.*

[29] Tettex Instruments: *True Digital Partial Discharge Analysing System.*

[30] Tułodziecka E., Andrzejewski K.: *Komputerowa diagnostyka izolacji maszyn elektrycznych wysokiego napięcia metodą pomiaru wyładowań niezupełnych*. Wyd. BOBRME, Katowice 1995, Zeszyty Problemowe Komel nr 50, str. 65–73.

[31] Tułodziecka E., Andrzejewski K.: *Wykrywanie stanów przedawaryjnych izolacji uzwojeń stojanów generatorów metodą bezpośredniego pomiaru wyładowań niezupełnych w układzie off-line*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne" 52/1996.

[32] Zubelik P., Nadaczny K., Andrzejewski K., Zajączek M.: *System oceny układów izolacyjnych hydro- i turbogeneratorów dużej mocy najnowszymi metodami, głównie przez pomiary i analizę wyładowań niezupełnych*. Instytut Energetyki – Zakład Izolacji, Poznań 2006.

[33] Zydroń P.: *Zastosowanie analizy czasowej i częstotliwościowej do badania wyładowań niezupełnych w układach izolacyjnych wysokiego napięcia*. Rozprawa doktorska, AGH, Kraków 2001.

[34] IEC60270: 2000, High voltage test techniques – Partial discharge measurements.

prof. dr hab. inż. Sławomir Szymaniec – Politechnika Opolska.
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki.
Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych,
e-mail: s.szymaniec@po.opole.pl;
dr inż. Piotr Paduch – Politechnika Opolska.
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

artykuł recenzowany

Analiza pracy silnika zabudowanego w piaście koła samochodu osobowego dla wybranych parametrów jazdy

Piotr Dukalski, Tomasz Wolnik, Bartłomiej Będkowski, Tomasz Jarek, Andrzej Urbaś, Krzysztof Augustynek

1. Wstęp

W obecnych czasach dynamiczny rozwój samochodów elektrycznych oraz szeroko pojęta elektromobilność stanowi wyzwanie dla wielu różnych podmiotów związanych z motoryzacją, energetyką, źródłami energii oraz z różnymi dziedzinami techniki od materiałoznawstwa po IT.

Coroczny wzrost liczby zarejestrowanych pojazdów elektrycznych na świecie oraz zaangażowanie światowych liderów motoryzacji potwierdza stopniowe ukierunkowywanie rynku na rozwój elektromobilności. Pomagają temu również strategiczne działania poszczególnych państw, które różnymi działaniami promują użytkowanie przez obywateli samochodów elektrycznych oraz wprowadzają ograniczenia w dostępach do centrów miast pojazdów o napędach spalinowych.

Pomimo tego, że rozwój samochodów elektrycznych jest napędzany przez znane marki samochodowe, stanowi on również szansę rozwoju rynku samochodowego w krajach, gdzie nie jest on jeszcze wysoko rozwinięty. Znakomitym przykładem firmy, która wykorzystała nowy potencjał rynku, jest firma Solaris produkująca autobusy elektryczne nie tylko na rynek krajowy, ale również zagraniczny [1]. Innym przykładem jest promująca nowy prototyp samochodu dostawczego firma Ursus.

Podobnym kierunkiem rozwoju różnych inwestycji mogą być pojazdy elektryczne inne niż samochody osobowe, np. pojazdy transportowe obsługujące hale produkcyjne czy lotniska, drony naziemne, motory, pojazdy wojskowe i pożarnicze, pojazdy turystyczne, minibusy.

Wzrost zainteresowania elektromobilnością ma przełożenie na profil działalności producentów napędów elektrycznych, którzy albo muszą szukać inwestorów realizujących przedsięwzięcie o odpowiednio wysokim prawdopodobieństwie sukcesu, zakończonego wdrożeniem na większą skalę, albo dopasować swoje usługi do indywidualnych potrzeb klienta. KOMEL jest producentem napędów elektrycznych, których konstrukcja i parametry są dobierane pod indywidualne zamówienia [2, 3, 4, 5].

Na przestrzeni ostatnich kilku lat Instytut zaobserwował wzrost zainteresowania napędami wykorzystującymi silniki zabudowane w piastach kół napędowych. Zapytania dotyczyły napędów dla pojazdów elektrycznych rożnego przeznaczenia: od samochodów elektrycznych po aplikacje wojskowe.

Silniki tego typu stanowią jedną z najbardziej rozwijających się koncepcji rozwiązania układu napędowego samochodów elektrycznych. Takie rozwiązanie pozwala na zredukowanie liczby elementów pośredniczących w przełożeniu napędu z silnika na koło samochodu, jak np. przekładnia mechaniczna czy mechanizm różnicowy.

Silniki zabudowane w piastach kół posiadają szereg zalet, natomiast wiążą się również z wyzwaniami dla konstruktorów [6, 7]. Jednym z głównych problemów, jakie należy rozwiązać na drodze projektowania i testów laboratoryjnych i technologicznych, jest skuteczne odprowadzenie ciepła z silnika.

Z uwagi na dynamicznie postępujący rozwój elektromobilności oraz zapytania sektora prywatnego Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL podjął prace badawcze i projektowe, mające na celu opracowanie rozwiązań technicznych oraz technologicznych, które w efekcie pozwolą na świadczenie usług związanych z projektowaniem i produkcją tego typu silników dla różnego rodzaju pojazdów.

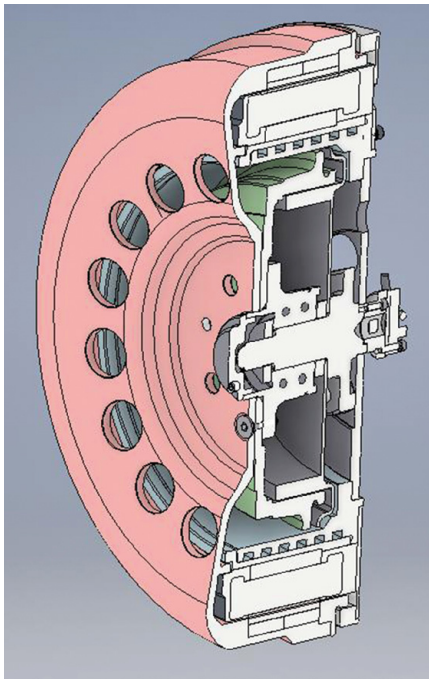
Streszczenie: Artykuł przedstawia konstrukcję silnika trakcyjnego do zabudowy w piaście koła samochodu osobowego. Autorzy przedstawili obliczone parametry pracy silnika dla dwóch następujących po sobie etapów przejazdu. Pierwszy dotyczył jazdy z prędkością równą 150 km/h. Drugi etap obejmował jazdę z prędkością 50 km/h po powierzchni o nachyleniu 20%. W artykule zostały przedstawione parametry pracy silnika dla każdego z etapów oraz wyniki analizy termicznej silnika w trakcie przejazdu.

Słowa kluczowe: silnik w piaście koła, silnik z magnesami trwałymi, samochód elektryczny, napęd elektryczny

ANALYSIS OF THE WORK OF AN ELECTRIC WHEEL HUB MOTOR FOR SELECTED DRIVING PARAMETERS OF CAR

Abstract: *The article presents the construction of a electrical wheel hub traction motor for passenger car. Authors presented calculated parameters of operation for two consecutive ride stages. The first one concerned driving at a speed of . The second stage involved riding at on a slope. The article presents parameters of motor work for each stage and the results of thermal analysis of the motor during the ride.*

Keywords: wheel hub motor, permanent magnet motor, electric car, electric drive



Rys. 1. Model 3D przekroju silnika

Prace realizowane są w ramach programu LIDER VII, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

2. Konstrukcja silnika

Wybraną aplikacją dla opracowywanego w ramach projektu silnika jest samochód typu Fiat Panda III. Wymiary gabarytowe silnika zostały dopasowane do felgi 17". Dostępna dla konstruktora silnika przestrzeń projektowa jest ograniczona średnicą wewnętrzną felgi, jej kształtem, osadzeniem felgi (ET) oraz bębnem hamulcowym (jeżeli jest uwzględniony w układzie hamulcowym).

W skład elementów ruchomych silnika wchodzi korpus z rdzeniem magnetycznym i magnesami trwałymi, stanowiący zewnętrzną część napędu.

Elementy nieruchome tworzą: tarcza stała, konstrukcja wsporcza wyposażona w układ chłodzenia stojana oraz stojan. Na rysunku 1 pokazano również przekrój przez bęben hamulcowy, który nie stanowi elementu silnika, natomiast jest zamontowany w jego wnętrzu.

Układ łożyskowania samochodu i silnika jest wspólny.

Tarcza nieruchoma, przez którą są wyprowadzone przewody zasilające silnika oraz przewody sterownicze, stanowi również element części montażowej silnika w samochodzie.

3. Parametry pracy silnika

Aby silnik mógł być zastosowany w napędzie samochodu jako napęd bezpośredni, powinien spełniać określone wymagania dotyczące momentu maksymalnego, prędkości maksymalnej, mocy maksymalnej, jak również wymagania związane z zagadnieniami termicznymi.

Można założyć, że krytycznym punktem pracy związanym z problemem odprowadzenia ciepła dla samochodu osobowego jest praca silnika podczas długotrwałej jazdy z prędkością maksymalną po powierzchni płaskiej.

Dla przyjętej przez zespół projektowy aplikacji (samochód osobowy o masie maksymalnej 1600 kg) jest to prędkość postępowa pojazdu równa 150 km/h, co dla bezpośredniego przełożenia momentu i przyjętego ogumienia jest równe prędkości obrotowej silnika 1362 obr./min. W tym punkcie pracy silnik musi generować moment obrotowy o wartości co najmniej 150 Nm, aby pokonać opory ruchu pojazdu. Najważniejszą jednak kwestią jest to, aby w tym punkcie pracy możliwe było skuteczne odprowadzenie powstałej na skutek strat energii cieplnej.

Kolejnym charakterystycznym parametrem, który musi zapewnić silnik, jest wymagany maksymalny chwilowy moment obrotowy oraz zakres prędkości obrotowej silnika. Od wartości maksymalnego momentu obrotowego zależy przyśpieszenie pojazdu oraz możliwość pokonywania odpowiednich wzniesień. Dla zaprojektowanego przez zespół projektowy silnika maksymalny moment obrotowy na kole wynosi ok. 900 Nm. W tym przypadku, przy założonej masie pojazdu 1035 kg (Fiat Panda) oraz wadze podróżującego pasażera równej 85 kg, samochód jest w stanie osiągnąć prędkość od 0 do 100 km/h w ciągu ok. 6,3 s. Przy założonej maksymalnej masie pojazdu Fiat Panda 1600 kg prędkość od 0 do 100 km/h samochód osiągnie w ciągu ok. 8,7 s.

W tabeli 1 zostały przedstawione obliczone parametry pracy silnika: znamionowe (jazda z prędkością maksymalną po płaskim terenie), przy maksymalnym momencie obrotowym M_{max} oraz dla jazdy przy nachyleniu $\alpha_s = 20\%$ z prędkością $v = 50$ km/h.

reklama

STAUFF®

Oto STAUFF Polska

Działając pod marką STAUFF zdobyliśmy pozycję międzynarodowego lidera w pracach rozwojowych, produkcji i dostawach części do systemów rur i układów hydraulicznych.

Systemy Mocowania
Systemy Pomiarowe
Technika Filtracji
Diagtronics
Akcesoria Hydrauliczne
Zawory Kulowe
Złącza Hydrauliczne

NOWOŚĆ! STAUFF Connect
Technologia Złącz Rurowych od STAUFF

STAUFF Polska Sp. z o.o.
Miszewko 43 A ▪ 80-297 Banino
Tel.: 058 660 11 60 ▪ Fax: 058 629 79 52
sales@stauff.pl

www.stauff.pl

Tabela 1. Obliczone parametry silnika dla różnych punktów pracy

	M_{max}	v = 150 km/h α_s = 0	v = 50 km/h α_s = 20%
U[V]	200	200	105
I[A]	350	90	165
P[kW]	79	21,4	23,6
M[Nm]	890	150	500
n[obr./min] ΔP[kW]	850	1362	454
Suma strat ΔP[kW]	12,9	1,2	2,73

4. Straty mocy

Jednym z głównych aspektów podczas projektowania silnika o konstrukcji kompaktowej jest odpowiednie ograniczenie strat mocy w poszczególnych elementach silnika, które mogą zaważyć na możliwych do uzyskania parametrach jego pracy.

W zdecydowanej większości rozwiązań konstrukcyjnych silników elektrycznych głównym źródłem ciepła jest uzwojenie, którego maksymalną temperaturę pracy ogranicza wytrzymałość termiczna izolacji. W przypadku silników z magnesami trwałymi w konstrukcji obwodu elektromagnetycznego uzwojenie występuje tylko w stojanie. Generowane straty mocy w postaci ciepła są odprowadzane przez powietrze oraz rdzeń magnetyczny do kadłuba silnika lub innych elementów, jak np. elementów wsporczych, na których osadzony jest stojan, jak w prezentowanym silniku. Termicznie najbardziej obciążoną częścią uzwojenia są jego czoła, ponieważ znajdują się poza żłobkiem stojana i nie przylegają do rdzenia (co jest uzależnione od sposobu uzwajania, konstrukcji i technologii wykonania rdzenia stojana oraz typu uzwojenia). Coraz bardziej popularnym rozwiązaniem, mającym na celu zwiększenie efektywności odprowadzania ciepła z uzwojenia staje się zalewanie uzwojonych rdzeni magnetycznych w żywicach termoprzewodzących, które charakteryzują się znacznie większą od powietrza przewodnością cieplną, wynoszącą nawet 3,5 W/mK. W prezentowanym rozwiązaniu, zastosowana żywica epoksydowa o przewodności cieplnej 1,3 W/mK odprowadza ciepło wydzielane przez uzwojenie w części czołowej do konstrukcji wsporczej, w której zabudowany jest labirynt z wymuszonym przepływem cieczy. W ramach Projektu Lider 7 zostały przeprowadzone symulacje termiczne dla różnych typów żywic oraz różnych konstrukcji układu chłodzenia. Wyniki zostaną przedstawione w kolejnych publikacjach.

W silnikach wzbudzanych magnesami trwałymi o cewkach skupionych, pracujących w szerokim zakresie częstotliwości, pojawia się dodatkowo problem strat w magnesach trwałych oraz rdzeniu wirnika [8, 9]. Wartość tych strat należy ograniczyć poprzez różnego rodzaju zabiegi konstrukcyjne, gdyż parametry magnesów trwałych są ściśle zależne od ich temperatury, a przekroczenie temperatur dopuszczalnych może prowadzić do ich trwałego rozmagnesowania.

5. Obliczenia termiczne dla wybranych parametrów pracy silnika

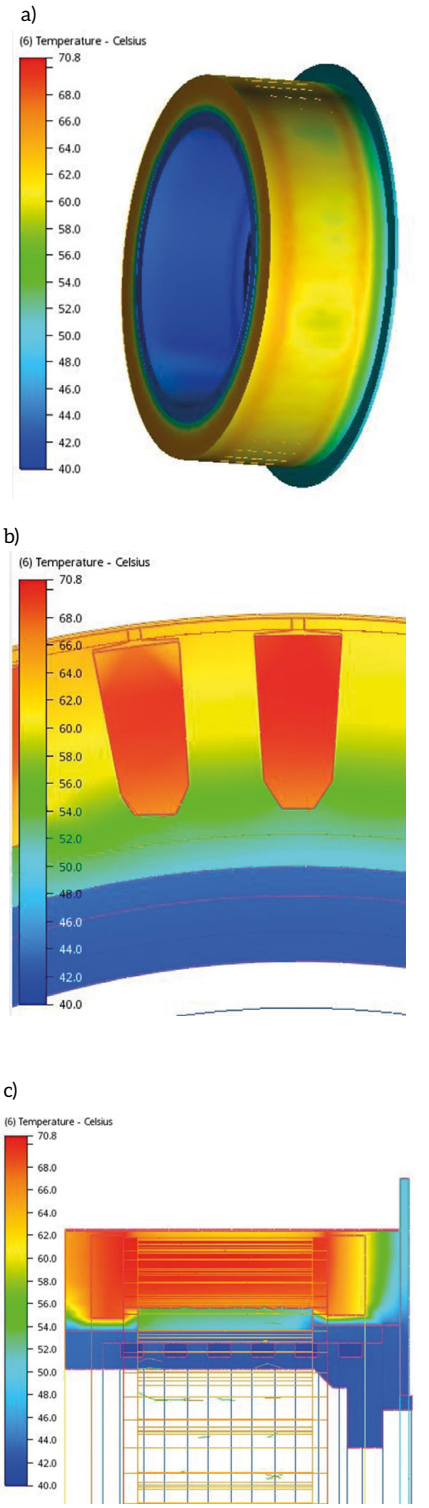
W celu poznania rozkładu temperatur w różnych stanach pracy silnika zostały wykonane modele termiczne silnika, w których zostały zadane obliczone straty mocy, przedstawione w tabeli 2. Straty zostały obliczone dla punktów pracy odzwierciedlających charakterystyczne stany pracy silnika, podane w tabeli 1.

Założono krytyczny scenariusz przejazdu samochodu, w którym pojazd najpierw jedzie ze stałą prędkością maksymalną 150 km/h, a następnie wjeżdża na wzniesienie 20% z prędkością 50 km/h przez ok. 1,5 min, co jest równoznaczne z przebyciem drogi równej 1 km.

Do obliczeń termicznych przyjęto założenie, że silnik przy prędkości 150 km/h uzyskał temperatury ustalone, które zostały potraktowane jako temperatury początkowe dla drugiego etapu scenariusza jazdy.

W tabeli 2 przedstawione zostały wybrane straty dla obu etapów „scenariusza".

Na rysunku 3 zostały przedstawione wyniki obliczeń termicznych dla etapu 1 (rysunek 2 i 3) i dla etapu 2

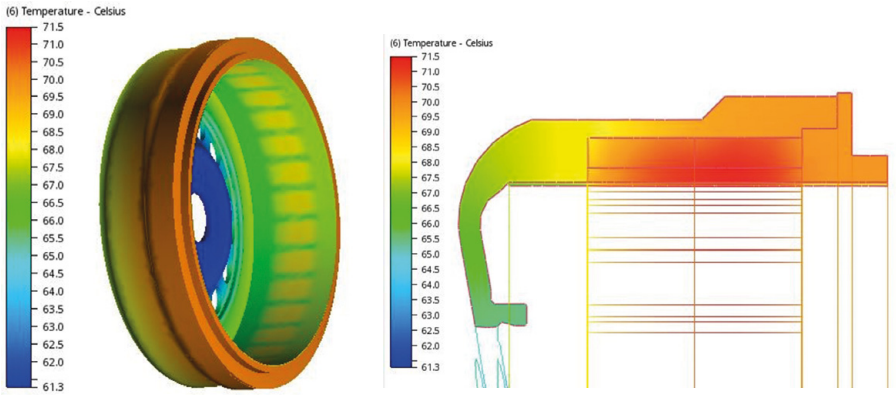


Rys. 2. Wyniki obliczeń termicznych przy stałej prędkości pojazdu 150 km/h po nachyleniu powierzchni 0% i przepływie chłodziwa 15 l/min: a) stojan; b) przekrój poprzeczny stojana; c) przekrój wzdłużny stojana

(rysunek 4) przy temperaturze otoczenia równej 40°C.

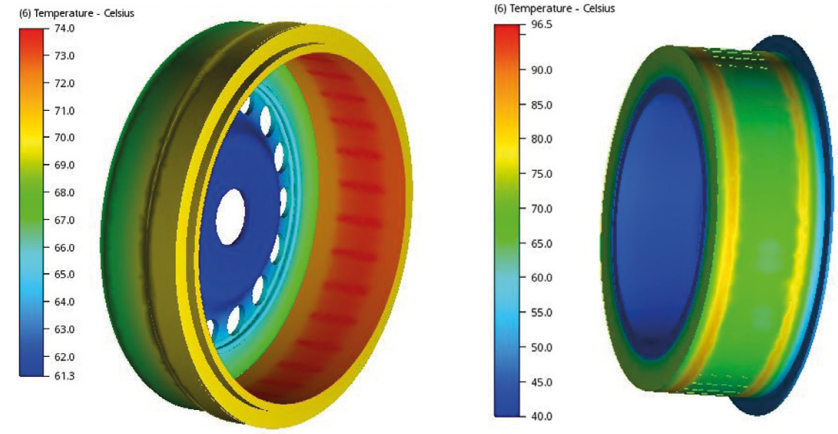
Z przedstawionych na rysunkach 2 i 3 wyników symulacji pracy silnika można

a) b)



Rys. 3. Wyniki obliczeń termicznych przy stałej prędkości pojazdu 150 km/h po nachyleniu powierzchni 0% i przepływie chłodziwa 15 l/min: a) wirnik; b) przekrój wirnika

a) b)



Rys. 4. Wyniki obliczeń termicznych przy stałej prędkości pojazdu 50 km/h po nachyleniu powierzchni 20%, przy temperaturach początkowych jak na rysunkach 2 i 3 i przepływie chłodziwa 15 l/min: a) wirnik; b) stojan

odczytać maksymalne temperatury, jakie pojawiły się w elementach silnika. Maksymalna temperatura, zgodnie z przewidywaniami, wystąpiła w uzwojeniu (71,5°C), co jest szczególnie dobrze widoczne na rysunku 2 b. Na rysunku 2 c przedstawiony został przekrój wzdłużny stojana, na którym widać, że temperatura czół uzwojeń jest niższa o ok. 8°C po stronie tarczy montażowej silnika niż w czołach po stronie przeciwnej. Powodem jest dodatkowy radiator, jaki stanowi tarcza montażowa dla uzwojenia. Maksymalna temperatura w wirniku została zaobserwowana w magnesach trwałych na poziomie 74°C.

Uzyskany rozkład temperatury nie stanowi zagrożenia dla pracy silnika.

Od stanu termicznego zaprezentowanego na rysunkach 2 i 3 rozpoczęto symulację pracy w etapie 2.

Wyniki symulacji etapu 2 zostały zaprezentowane na rys. 4.

Otrzymane temperatury również nie stanowią zagrożenia dla pracy silnika.

W tabeli 3 przedstawiono zestawienie temperatur w poszczególnych elementach silnika.

Tabela 2. Wybrane straty dla obu etapów „scenariusza"

	v = 150 km/h α_s = 0	**v = 50 km/h α_s = 20%**
ΔP_{FeR}[W]	29,2	37,2
ΔP_{FeS}[W]	347,7	116,6
ΔP_{FeMag}[W]	133,6	115
ΔP_{Cu}[W]	729,0	2460

Tabela 3. Obliczone temperatury maksymalne w stojanie i w wirniku

	Obliczona temperatura	
	stojan uzwojenie	**wirnik magnesy**
Temperatura etap I [°C]	70,8	74
Temperatura etap II [°C]	96,5	71,5
Temperatura dopuszczalna [°C]	180	120

6. Wnioski

W artykule została przedstawiona konstrukcja trakcyjnego silnika synchronicznego, wzbudzanego magnesami trwałymi, przeznaczonego do zabudowy w kołach napędowych samochodu elektrycznego. Zostały również zaprezentowane obliczone parametry pracy silnika w charakterystycznych punktach. Autorzy artykułu zaprezentowali metodę analizy pracy silnika w napędzie Fiat Panda na przykładzie wybranego scenariusza jazdy samochodu. Wyniki obliczeń na modelach termicznych stanowią wynik decydujący o możliwości pracy silnika w przedstawionym cyklu obciążenia.

Osiągnięte temperatury w kluczowych miejscach silnika, jakimi są uzwojenie silnika oraz magnesy trwałe, według obliczeń nie stanowią zagrożenia dla jego pracy w zaprezentowanych warunkach. Tego typu obliczenia, bazujące na obliczeniach strat w obwodzie elektromagnetycznym oraz na modelu do obliczeń termicznych, pozwalają na oszacowanie występujących temperatur w trakcie pracy silnika.

Przedstawiona w artykule metoda obliczeniowa pozwala konstruktorom na obliczenie temperatury pracy silnika w najbardziej niekorzystnych warunkach obciążenia, co nie tylko może pomóc w ocenie niezawodności silnika, ale również wskazuje możliwości optymalizacji jego konstrukcji np. w zakresie zmniejszenia masy lub zwiększenia czasu pracy z danym obciążeniem.

Kolejnym etapem realizowanych prac będzie weryfikacja obliczeń na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych.

Literatura

[1] https://solarisbus.com

[2] Król E.: *Silniki elektryczne w napędach pojazdów sportowo-rekreacyjnych*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne" 2(102)/2014.

[3] Król E., Rossa R.: *Silnik synchroniczny z magnesami trwałymi jako napęd pojazdu hybrydowego*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne" 4(97)/2012.

[4] Radwański W., Będkowski B., Białas A., Rossa R.: *Koncepcja napędu elektrycznego „E-Kit" dla miejskich samochodów osobowych*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne" 4(97)/2012.

[5] www.komel.katowice.pl/elektromobilnosc.html

[6] Dukalski P., Będkowski B., Wolnik T., Urbaś A., Augustynek K.: *Założenia projektu silnika do zabudowy w piaście koła samochodu elektrycznego*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne" 2/2017.

[7] Dzida J.: *Porównanie różnych sposobów kierunkowego napędzania pojazdów silnikami elektrycznymi* „Napędy i Sterowanie", 2/2017.

[8] Petrov I., Egorov D., Link J., Stern R., Ruoho S.: *Hysteresis Losses in Different Types of Permanent Magnets Used in PMSMs*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, doi 10.1109/TIE.2016.2548440.

[9] Yamazaki K., Shina M., Kanou Y., Miwa M., Hagiwara J.: *Effect of Eddy Current Loss Reduction by Segmentation of Magnets in Synchronous Motors: Difference Between Interior and Surface Types*. „IEEE Transactions on Magnetics" 45(10)/2009.

Projekt „Innowacyjne rozwiązania napędu bezpośredniego pojazdów elektrycznych", finansowany ze środków NCBiR w ramach programu LIDER VII, zgodnie z umową: LIDER/24/0082/L-7/15/NCBR/2016.

Piotr Dukalski, Tomasz Wolnik, Bartłomiej Będkowski, Tomasz Jarek
Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL;
Andrzej Urbaś, Krzysztof Augustynek
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

artykuł recenzowany

reklama

Osiowe elektryczno-mechaniczne zespoły napędowe do pojazdów

Jan Dzida

1. Wstęp

Wywołany wieloma czynnikami, zwłaszcza ekologicznymi, rozwój środków transportu o elektrycznych zespołach napędowych stał się faktem i wiele wskazuje na to, że będzie trwałym kierunkiem dalszego rozwoju motoryzacji. Sytuacja ta ma bardzo duże znaczenie nie tylko dla producentów wyrobów finalnych, ale i dostawców ich komponentów. Samochody elektryczne i hybrydowe po prostu różnią się rozwiązaniami wielu zespołów od samochodów napędzanych silnikami spalinowymi, a różnice te będą się jeszcze bardziej pogłębiać z upływem czasu, w miarę ich doskonalenia i optymalizacji. Dzisiaj już wiadomo, że oprócz różnic w głównych zespołach napędowych, również inne będą nadwozia, układy jezdne, kierownicze, a nawet stosowane śruby. Już od kilku lat można obserwować intensywne działania wielu producentów w kierunku opracowania nowych zespołów i podzespołów dedykowanych wyłącznie do samochodów elektrycznych i hybrydowych. W tym ciągle początkowym okresie rozwoju takich napędów konkurencyjna walka dotyczy tego, propozycja której firmy okaże się najbardziej udana i uniwersalna i będzie mogła być standardem na wiele lat ustabilizowanej już produkcji nowej generacji samochodów. Przykładem z dotychczasowej historii motoryzacji takiego zwycięskiego standardu jest tak zwane kolumnowe zawieszenie kół typu MacPhersona i wiele innych podzespołów, które osiągnęły bardzo dużą popularność. Od strony konstrukcji mechanizmów przeniesienia napędu samochody elektryczne są i będą prostsze od napędzanych silnikami spalinowymi. Składa się na to brak sprzęgła i zwykle skrzyni biegów (najczęściej nie ma konieczności zmiany przełożenia),

Streszczenie: Artykuł dotyczy zaawansowanych konstrukcji elektryczno-mechanicznych zespołów napędzania kół jednej osi w samochodach elektrycznych i hybrydowych. W przypadku systemów hybrydowych stosuje się je tylko w układach 4x4, w osi o dodatkowo dołączanym napędzie. Propozycje rozwiązań czołowych firm nie ograniczają się tylko do prostego zespołu elektryczny silnik – przekładnia, ale dodatkowo obejmują możliwość kierunkowego napędzania pojazdu (funkcja systemu *torque vectoring*), a czasem również zmianę przełożenia. W artykule poddano pogłębionej analizie zespół napędowy, który zawiera elektryczny silnik napędowy i przekładnię przeniesienia napędu oraz dodatkowy silnik elektryczny wraz z przekładniami do sterowania działaniem walcowego mechanizmu różnicowego. Przeprowadzono analizę kinematyki tego złożonego układu, w którym przez wymuszanie odpowiedniego ruchu obrotowego satelitów mechanizmu różnicowego oddziałuje się na kierunek jazdy samochodu. Omówiono również zespolony mechanizm napędowy realizujący dodatkową funkcję kierunkowego napędzania poprzez bardzo oryginalny i uproszczony układ przekładni oraz rozwiązanie pozbawione mechanizmu różnicowego, jednak z zachowaną funkcją oddziaływania na kierunek jazdy przez użycie sprzęgieł ciernych. Opisane zespoły poddano ocenie i porównaniu względem siebie oraz w stosunku do układów, w których każde koło osi jest napędzane odrębnym silnikiem. W części końcowej podjęto próbę wskazania kierunków dalszego rozwoju takich zespołów.

Słowa kluczowe: układy napędowe pojazdów, napędy elektryczne i hybrydowe, sterowanie rozdziałem mocy, kierowalność pojazdów

AXIAL ELECTRO-MECHANICAL DRIVE UNITS FOR VEHICLES

Abstract: *The article applies to the advanced electro-mechanical designs of single axle drivetrain in electric and hybrid cars. In the case of hybrid systems, they are used only in 4x4 systems, in the axle of an additionally engaged drive. The solutions offered by leading companies are not limited to the simple electrical motor-transmission unit, but additionally include the possibility of directional propulsion of the vehicle (torque vectoring system function), and sometimes also the gear ratio shift. The article analyzes the drivetrain in detail, which includes an electric drive motor and transmission drive, as well as an additional electric motor with gears to control the operation of the helical differential. The kinematics analysis of this complex system was carried out, in which by forcing the appropriate rotational movement of the differentials satellites, the direction of the car is influenced. Also discussed is a complex drive mechanism that provides an additional function of directional propulsion through a very unique and simplified transmission system and a solution without a differential mechanism, but with the preserved function of influencing the direction of drive through the use of friction clutches. The described assemblies were evaluated and compared with each other and in relation to systems in which each wheel of the axle is driven by a separate motor. In the final part, an attempt was made to indicate the directions of further developments of such systems.*

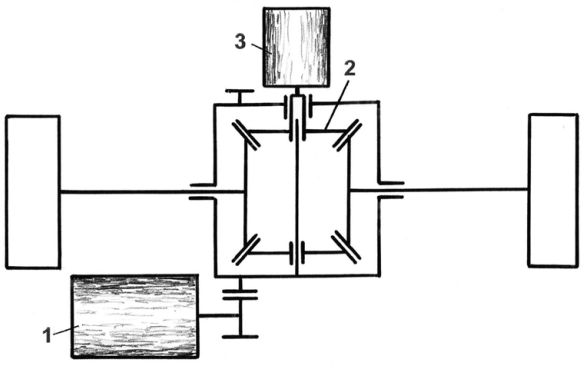
Keywords: vehicle drive systems, electric and hybrid drives, power distribution control, maneuverability of vehicles

a w przypadku napędzania kół wielu osi brak skrzyni rozdzielczej i wałów napędowych dzięki możliwości stosowania wielu silników. Z tego samego powodu możliwe też jest wyeliminowanie mechanizmów różnicowych zarówno w osiach napędowych, jak i między nimi.

W dalszej części artykułu zostały opisane niektóre propozycje czołowych producentów dotyczące zintegrowanych układów elektryczno-mechanicznych do napędzania kół jednej osi. Charakterystyczne w tych konstrukcjach jest to, że firmy oferują zespoły bardzo zaawansowane pod względem realizowanych funkcji, wykraczające poza podstawowe oczekiwanie, jakim jest zapewnienie tylko napędzania pojazdu. Tą dodatkową funkcją najczęściej jest tak zwane kierunkowe napędzanie pojazdu, opisane szczegółowiej w [2, 3, 4, i 5], czasem również dodatkowo możliwość zmieniania przełożenia. Takie podejście może być spowodowane chęcią zapewnienia długiego „życia" tym nowo projektowanym zespołom (to, co dzisiaj jest nowością, niedługo będzie standardem), ale można domyślać się i innego powodu. Prawdopodobnie są to próby „włożenia" do nowych zespołów wieloletnich doświadczeń i tradycji firmy oraz wykorzystanie istniejących mocy produkcyjnych.

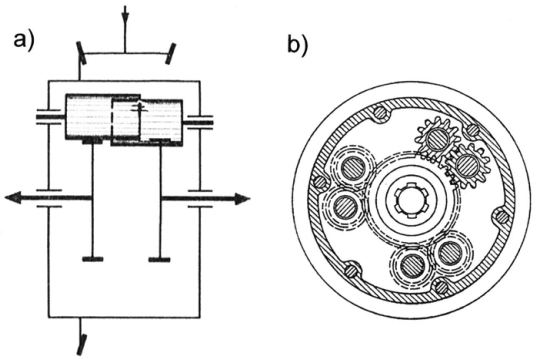
2. Elektryczno-mechaniczny zespół napędowy z aktywnym mechanizmem różnicowym

Poddany analizie w tym punkcie typ elektrycznego układu napędowego kół jednej osi nawiązuje do systemu przedstawionego w [9] oraz skrótowo w [2, 5]. W konstrukcji tej jest realizowana funkcja kierunkowego napędzania pojazdu (działanie systemu *torque vectoring*) w dość szczególny sposób, bo przez wymuszanie prędkości obrotowej satelitów mechanizmu różnicowego. Ideę tę przedstawia rys. 1, na którym widać, że jeden satelita jest sprzęgnięty z dodatkowym silnikiem elektrycznym, który może go napędzać, przez co narzucony jest określony ruch wszystkich elementów mechanizmu różnicowego.

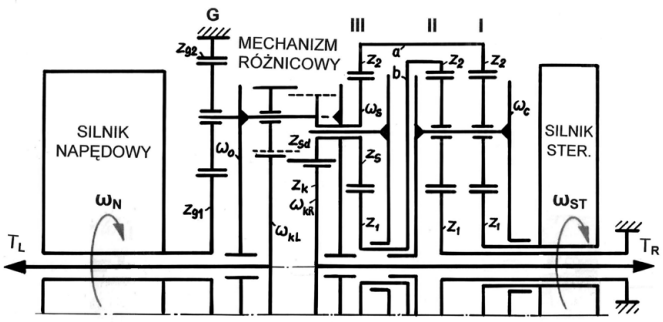


Rys. 1. Idea kierunkowego napędzania pojazdu przez wymuszenie prędkości kątowej satelitów mechanizmu różnicowego: 1 – silnik napędowy; 2 – mechanizm różnicowy; 3 – silnik sterujący

Jak wiadomo, w czasie jazdy prostoliniowej satelity nie obracają się wokół swojej osi, zaś podczas jazdy na zakręcie występuje ich ruch obrotowy. Przez dodatkowe oddziaływanie na ruch elementów mechanizmu różnicowego (2) silnikiem (3)



Rys. 2. Schemat walcowego mechanizmu różnicowego (a) i przekrój poprzeczny przykładowej konstrukcji (b) według [6]



Rys. 3. Schemat elektryczno-mechanicznego zespołu napędowego z aktywnym walcowym mechanizmem różnicowym i systemem jego sterowania: T_L i T_R momenty napędowe na lewej i prawej półosi

można zmieniać siły napędowe na kołach lewym i prawym i w ten sposób wpływać na tor ruchu pojazdu. Jednak wierna realizacja tej idei jest bardzo trudna, a wręcz niemożliwa, bo ruch krążący satelitów wraz z napędzającym je silnikiem (lub silnikami) powodowałby bardzo dużą i technicznie trudną konstrukcję. Na szczęście od dawna jest znany walcowy mechanizm różnicowy (rys. 2 a i b) [6], w którym krążące satelity są walcami (stanowią zawsze pary) i mają osie obrotu ułożone równolegle do osi obrotu kół osi.

Przyjęcie takiej konstrukcji mechanizmu różnicowego czyni realizację systemu *torque vectoring*, opartego na idei z rys. 1, dużo łatwiejszą i możliwą do osiągnięcia. Na rys. 3 przedstawiony jest schemat całego analizowanego zespołu napędowego. Z lewej strony znajduje się główny silnik napędowy, który poprzez przekładnię główną w postaci przekładni planetarnej G napędza obudowę walcowego mechanizmu różnicowego.

Z prawej strony zespołu umieszczony jest elektryczny silnik sterujący, który poprzez przekładnie planetarne I, II i III wywołuje określony ruch obrotowy walcowych satelitów mechanizmu różnicowego.

Aby dokładniej przeanalizować sposób przenoszenia napędu i działanie systemu sterowania mechanizmem różnicowym, wykonano analizę kinematyki zastosowanych przekładni planetarnych.

Wychodząc z równania ogólnego dla elementarnej przekładni planetarnej [6] w postaci:

$$z_1 \omega_1 + z_2 \omega_2 = (z_1 + z_2) \omega_0 \quad (1)$$

gdzie:
z_1, z_2 – liczby zębów koła słonecznego i wieńcowego;
ω_1, ω_2 – prędkości kątowe koła słonecznego i wieńcowego;
ω_0 – prędkość kątowa jarzma satelitów.

Można napisać cztery takie równania dla przekładni planetarnych I, II, III i G. W wyniku rozwiązania tego układu równań można wyznaczyć parametry ruchu poszczególnych elementów przekładni planetarnych, przy założeniu, że prędkość kątowa silnika napędowego ω_N i silnika sterującego mechanizmem różnicowym ω_{ST} są znane. Wygenerowana prędkość koła satelitarnego mechanizmu różnicowego ω_s (względem własnej osi) wyraża się wzorem:

$$\omega_S = \frac{z_1^2 \omega_{ST} (z_1 + 2z_2)}{z_s z_2 (z_1 + z_2)} \quad (2)$$

W tym miejscu warto skorzystać ze znanych parametrów innych mechanicznych układów *torque vectoring*, które zwykle mają możliwość nadania prędkości kątowej jednej półosi do 10% większej lub mniejszej od prędkości kątowej obudowy mechanizmu różnicowego. Tę zasadę można przyjąć jako słuszną również do analizowanego układu. Przykładowo można to zapisać dla lewej i prawej półosi, korzystając z oznaczeń z rys. 3, w postaci:

$$0{,}9\,\omega_0 \le \omega_{kL} \vee \omega_{kR} \le 1{,}1\,\omega_0 \quad (3)$$

Można to również uogólnić i ująć wskaźnikiem zmiany prędkości kątowej jednej półosi $\Delta_{\omega k}$ względem prędkości obudowy mechanizmu różnicowego ω_0:

$$k = \frac{\Delta\omega_k}{\omega_0} \quad (4)$$

Wykorzystując wzór na wartość ω_s (2) oraz uwzględniając przełożenie pomiędzy satelitą i kołem koronowym mechanizmu różnicowego, można wyliczyć konieczną wartość prędkości kątowej silnika sterującego ω_{ST} dla uzyskania właściwej wartości wskaźnika zróżnicowania prędkości k przy określonej prędkości kątowej silnika napędowego ω_N:

$$\omega_{ST} = \frac{k z_s z_2 z_k (z_1 + z_2) z_{g1}}{z_1^2 z_{sd} (z_1 + 2z_2)(z_{g1} + z_{g2})} \omega_N \quad (5)$$

Powyższy wzór wykazuje, że musi być zapewniona stała proporcja pomiędzy prędkościami kątowymi silnika napędowego i sterującego, jeżeli chcemy osiągnąć określoną wartość wskaźnika k. W fazie aktywnego działania systemu kierunkowego napędzania konieczna wartość wskaźnika k wyliczana będzie z promienia toru jazdy i występujących stanów podsterowności lub nadsterowności w ruchu samochodu. Te procesy mogą być bardzo dynamiczne, a więc silnik sterujący musi zapewnić szybkie zmiany prędkości ω_{ST} zarówn, co do wartości, jak i zwrotu. Z dostępnych opisów wynika, że moc silnika sterującego w takim zespole do samochodu osobowego wynosi 5–8 kW, zależnie od obciążenia osi.

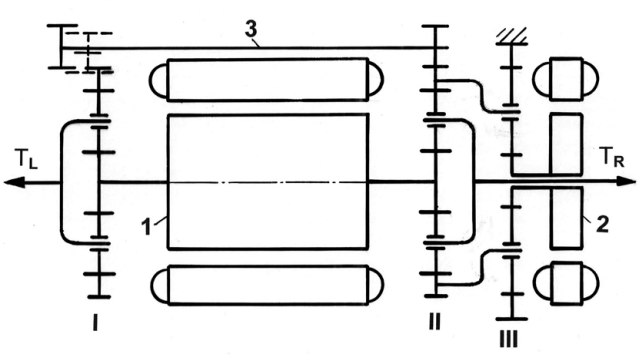
Przy próbie oceny powyższego układu nasuwają się następujące spostrzeżenia:

- układ konstrukcyjny systemu jest bardzo skomplikowany – występują cztery przekładnie planetarne, walcowy mechanizm różnicowy oraz dwa silniki elektryczne – napędowy i sterujący. Opisy firmowe [9] przekonują o dużym trudzie i staranności w zaprojektowaniu układu, jednak całość wydaje się wymiarowo stosunkowo duża i ciężka, a w konsekwencji będzie również kosztowna;
- z satelitami mechanizmu różnicowego połączone są dodatkowe masy wirujące sterujących przekładni planetarnych i silnika. Należy się spodziewać, że w fazie nieaktywnej systemu swoboda różnicowania prędkości kół jezdnych będzie pogorszona w stosunku do prostego mechanizmu różnicowego z powodu powiększonych momentów tarcia i bezwładności;
- oddziaływanie na kierunek ruchu pojazdu poprzez sterowanie takim układem wymaga ciągłego poboru mocy, również w stanach zerowej mocy silnika napędowego lub hamowania tym silnikiem. Pod tym względem wydaje się, że mechaniczne systemy *torque vectoring* (stosowane np. w spalinowych układach napędowych), działające przez narzucanie dodatkowej więzi kinematycznej, mogą być prostsze i bardziej energooszczędne w stosowaniu.

3. Zespół napędowy z funkcją kierunkowego napędzania z „ukrytym" mechanizmem różnicowym

Bardzo oryginalnie jest rozwiązany układ napędowy przedstawiony na rys. 4. Schemat ten, nawiązujący do opracowań z [7], ma silnik napędowy, którego wirnik 1 przez dwie boczne przekładnie planetarne I i II napędza półosie koła lewego i prawego.

Szczególną rolę w układzie odgrywa wałek 3 łączący przez dodatkowe zazębienia koła wieńcowe przekładni I i II. Wałek jest połączony z kołem wieńcowym przekładni II poprzez jedno koło zębate, zaś z kołem wieńcowym przekładni I dodatkowo poprzez koło pośrednie. Mimo że wałek (3) nie wykonuje ruchu



Rys. 4. Schemat zespołu napędowego z „ukrytym" mechanizmem różnicowym

krążącego (jego oś jest nieruchoma), spełnia on rolę podwójnego satelity w klasycznych walcowych mechanizmach różnicowych. Oznacza to, że jeżeli prędkość kątowa jednej półosi rośnie, to drugiej półosi w takim samym stopniu maleje.

W układzie występuje dodatkowy silnik sterujący (2), którego wirnik poprzez przekładnię planetarną III jest połączony z kołem wieńcowym przekładni II. W ten sposób osiągnięto możliwość przyspieszenia lub spowolnienia prawej półosi, a dzięki wałkowi (3) symetryczny efekt po lewej stronie, czyli spowolnienie lub przyspieszenie lewej półosi. Przedstawiony układ realizuje dokładnie takie same funkcje, jak system opisany w p. 2 (rys. 3). Jednak w tej konstrukcji dodatkowo łatwo można zastosować pojedyncze sprzęgło kształtowe, które będzie umożliwiać odłączenie wirnika silnika napędowego od wału łączącego przekładnie I i II (sprzęgło nie jest pokazane na schemacie). Wartość mocy silnika sterującego w tym rozwiązaniu jest zbliżona do podanej w p. 2 i wynosi 6 kW.

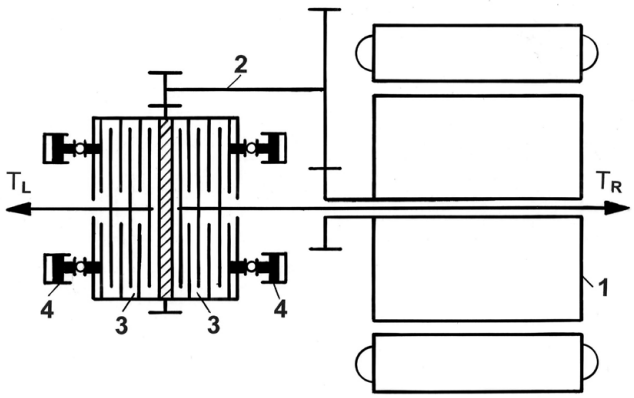
Próbując ocenić opisany system, można wskazać jego następujące cechy:

- dzięki przyjęciu bardzo nowatorskiej koncepcji układ jest wyraźnie mniej złożony, występują tylko 3 przekładnie planetarne, wałek łączący oraz silnik napędowy i sterujący. Wprawdzie przekładnie I i II są przekładniami głównymi, z czego wynikają większe obciążenia i masa, jednak należy się spodziewać, że układ będzie lżejszy, mniejszy i tańszy niż opisany w p. 2;
- w fazie, gdy system kierunkowego napędzania nie jest aktywny, możliwe będzie łatwiejsze różnicowanie prędkości kątowych półosi niż w poprzednim przypadku, dzięki zastosowaniu prostszego mechanizmu kierunkowego (mniejsze bezwładności przekładni zębatych);
- wariantowa możliwość mechanicznego odłączenia wirnika silnika napędowego od przekładni może być szczególnie ważna w układzie 4x4 przy przechodzeniu w tryb napędu jednej osi. Wówczas będą ograniczone straty mechaniczne w zespole, zaś oddziaływanie na kierunek jazdy samochodu może zostać zachowany przez narzucanie odpowiednich różnic prędkości kątowych półosi napędowych.

4. Kierunkowe napędzanie dwóch kół osi bez mechanizmu różnicowego

System przedstawiony schematycznie na rysunku 5 nawiązuje do rozwiązań przedstawionych w [8, 10] i jest kolejnym krokiem w kierunku maksymalnego uproszczenia konstrukcji.

W systemie tym występuje tylko silnik napędowy, którego wirnik (1) poprzez przekładnie zębate (2) (o stałych osiach) napędza obudowę zespołu dwóch sprzęgieł ciernych (3), umożliwiających niezależne napędzanie półosi lewej i prawej. Każde z tych sprzęgieł jest sterowane oddzielnym siłownikiem hydraulicznym (4) i zależnie od doprowadzonego ciśnienia uzyskuje się zdolność różnicowania momentów T_L i T_R na lewej i prawej półosi. W układzie nie występuje mechanizm różnicowy. Oznacza to, że w czasie jazdy w trybie napędzania kół konieczne jest prawie ciągłe modulowanie ciśnieniami cieczy doprowadzonej do siłowników (4), aby umożliwić różnicowanie prędkości kół wynikające z toru jazdy samochodu lub z interwencji uaktywnionego systemu *torque vectoring*. W stosunku do wcześniej



Rys. 5. Zespół napędowy z funkcją kierunkowego napędzania bez mechanizmu różnicowego

opisanych układów ten system wydaje się najprostszy, a równocześnie spełniający zbliżone funkcje.

Firma promująca to rozwiązanie określa je jako kompaktowe i ze względu na małe wymiary łatwe do zabudowania w przedniej lub tylnej osi samochodu. Zastosowane dwa sprzęgła cierne do kierunkowego napędzania pojazdu równocześnie umożliwiają całkowite odłączenie silnika napędowego od kół jezdnych. Jest bardzo korzystne w układach 4x4 w osi o wyłączanym napędzie. Przez niewielkie rozbudowanie układu możliwe jest wprowadzenie dodatkowego przełożenia i uzyskanie dwóch biegów do dyspozycji w czasie jazdy.

Uwagi, jakie można mieć do tej konstrukcji, są następujące:

- brak mechanizmu różnicowego, zwłaszcza przy zastosowaniu w przedniej osi, może skutkować odczuwaniem pogorszenia kierowalności pojazdu. Reakcje samochodu na ruchy kierownicy mogą być zmienne i pogarszać płynność jazdy na zakręcie. Ponadto każdorazowe różnicowanie prędkości kątowych kół napędzanych (spowodowane skręcaniem samochodu) odbywa się przy występującym poślizgu jednego sprzęgła, co obniża sprawność przenoszenia napędu;
- w trybie odłączenia silnika nie ma możliwości oddziaływania na kierunek ruchu samochodu;
- wygenerowany moment napędzania kierunkowego T_z (względem osi pionowej) nie może być tak duży, jak w pierwszych dwóch przykładach, gdyż nie jest możliwe wywołanie na kołach napędowych sił obwodowych o zwrotach przeciwnych.

5. Porównanie opisanych rozwiązań do innych koncepcji elektrycznego napędzania kół jednej osi

Przedstawione w punktach 2, 3 i 4 zespoły napędowe cechują się zastosowaniem jednego silnika napędowego i stosunkowo złożonych mechanizmów rozdzielających moc na koła. Współcześnie równolegle spotyka się systemy wykorzystujące oddzielne silniki elektryczne do napędu lewego i prawego koła. W takich układach kierunkowe napędzanie pojazdu może być realizowane wyłącznie drogą elektryczną przez indywidualne sterowanie momentami obrotowymi lub/i prędkościami kątowymi silników lewego i prawego.

Jednak zdaniem autora wiele przemawia za stosowaniem jednego silnika napędowego w osi. Jako zalety takich rozwiązań wymienia się mniejszy koszt pojedynczego silnika i większą sprawność w stosunku do dwóch mniejszych. Prawie zawsze w układzie występuje konieczność zastosowania redukującej przekładni głównej, a czasem i zmiennego przełożenia. W przypadku zastosowania jednego silnika nie trzeba podwajać tych zespołów, co również daje oszczędności. Pod względem napędowym pojedynczy silnik jest korzystniejszy jeszcze z tego względu, że jego moc może być kierowana na koło o większej przyczepności, przy równoczesnym jej zmniejszeniu na kole o mniejszej przyczepności. Takie sytuacje są typowe na przykład podczas jazdy samochodu na zakrętach. Aby uzyskać porównywalną dynamikę napędzania, sumaryczna nominalna moc oddzielnych silników powinna być większa od pojedynczego, bo jeden z silników może być przeciążony (niedobór mocy), drugi zaś będzie miał moc niewykorzystaną. Jednak ta zaleta stosowania pojedynczego silnika jest możliwa do wykorzystania jedynie przy użyciu zaawansowanego mechanizmu rozdziału mocy.

Warto jeszcze dodać, że podczas kierunkowego napędzania pojazdu system z dwoma silnikami napędowymi wymaga operowania dużymi mocami elektrycznymi każdego z nich, zaś w układach o jednym silniku napędowym jedynie znacznie mniejszą mocą silnika sterującego lub układu zasilającego odpowiednie sprzęgła.

6. Podsumowanie

Spośród analizowanych w artykule zespołów dwa z nich mają mechanizm różnicowy, zaś w trzecim on nie występuje. Autor należy do zwolenników zachowania mechanizmu różnicowego ze względu na jego bardzo korzystne i stabilne cechy w zakresie rozdziału momentów napędowych na koła. Szczególnie jest to uzasadnione w przypadku przedniej osi z kołami kierowanymi. Przy zachowaniu mechanizmu różnicowego w przeważającej części eksploatacji pojazdu jego charakterystyka działania daje wystarczająco dobrą stateczność ruchu i kierowalność. System *torque vectoring* powinien działać jedynie „nakładkowo" i włączać się w sytuacjach zakłócenia kierunku ruchu samochodu lub w trybie bardzo dynamicznej jazdy w celu wykorzystania pełni możliwości fizycznych (sił przyczepności kół do jezdni) do osiągnięcia najlepszych parametrów trakcyjnych i kierowalności. Patrząc na opisane układy, można zauważyć, że ich duża złożoność w głównej mierze wynika z funkcji kierunkowego napędzania – *torque vectoring*. Jeżeli jednak producenci chcą zachować ten system jako istotny i lepszy od znanych układów o podobnych funkcjach, jak: ESP (*Electronic Stability Program*) działający przy użyciu hamulców kół czy system kierowania przez skręcanie wszystkich kół 4WS (*4 Wheel Steering*), to należy ciągle poszukiwać lepszych rozwiązań. Pole poszukiwań można poszerzyć nawet na dość odmienne koncepcje, jak chociażby sygnalizowane w [1, 2, 5]. Kryterium oceny tych rozwiązań oczywiście powinien być korzystny wpływ na zachowanie pojazdu przy najmniejszej złożoności konstrukcji i koszcie produkcji. Należy wyrazić przekonanie, że rozwój takich zespołów nie jest zakończony i powstaną dalsze nowatorskie konstrukcje, które znajdą szerokie zastosowanie w nadchodzącej nowej generacji pojazdów.

Literatura

[1] Adamczyk D., Wilk A.: *Model dwuwirnikowej maszyny indukcyjnej w aspekcie elektromagnetycznego mechanizmu różnicowego*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe" 4/2015.

[2] Dzida J.: *Porównanie różnych sposobów kierunkowego napędzania pojazdów silnikami elektrycznymi*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe" 1/2016.

[3] Dzida J.: *Mechanizmy rozdziału mocy w pojazdach*. Monografia. Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej, Bielsko-Biała 2010.

[4] Dzida J., Mesiti D.: *Aktywny mechanizm różnicowy – nowa jakość w sterowaniu pojazdów.* Zeszyty Naukowe OBRSM Bosmal Bielsko-Biała, nr 21/I–II, 2003.

[5] Dzida J.: *Możliwości i ograniczenia systemów oddziaływania siłami napędowymi na kierunek ruchu samochodu (Torque Vectoring)*. „Archiwum Motoryzacji" 1/2015.

[6] Jaśkiewicz Z.: *Mosty napędowe*. WKiŁ, Warszawa 1977.

[7] Lagunoff G.: *BorgWarner eAWD*. Publikacja BorgWarner Inc. 2014.

[8] Ruoff Ch.: *Torque Vectoring and electric drives*. „Charged Electric Vehicles Magazine", Issue 24. March/April 2016.

[9] Smetana T., Biermann T., Höhn B-R., Kurth F., Wirth C.: *Schaeffler active eDifferential: The active differential for future drive trains*. Schaeffler Symposium, 2010.

[10] www.gkngroup.com: GKN reveals breakthrough hybrid electric torque vectoring system.

Jan Dzida – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

artykuł recenzowany

reklama

Wybierz swoją prenumeratę na **www.nis.com.pl**

Model dynamiczny silnika indukcyjnego klatkowego

Tadeusz Glinka

1. Wstęp

Silniki indukcyjne klatkowe dużej mocy w większości napędów elektrycznych pracują przy zasilaniu bezpośrednim z sieci elektroenergetycznej, pracują zatem jako napędy nieregulowane. Stany dynamiczne związane z:

- rozruchem;
- wyłączeniem zasilania i powtórnym załączeniem napięcia;
- rewersją prędkości obrotowej

oddziałują (najczęściej niekorzystnie) na silnik, sieć elektroenergetyczną, na napędzaną maszynę roboczą i elementy przeniesienia napędu (wały, sprzęgła, przekładnie). A także na aparaturę łączeniową.

W czasie pracy ustalonej silników zdarzają się także zaburzenia napięcia sieci:

- krótkie impulsy napięcia generowane w czasie wyłączania innych odbiorników energii (transformatorów, silników) przyłączonych do tej samej sieci;
- krótkie przerwy w napięciu zasilania związane z działaniem SPZ-ów i SZR-ów.

Krótkie przerwy napięcia zasilającego są zwykle przypadkowe, gdyż nie wynikają z algorytmu pracy napędu, lecz mogą być spowodowane zaburzeniami w sieci elektroenergetycznej, wywołane zwykle przypadkowymi zwarciami. Stany nieustalone, takie jak rozruch silników oraz wyłączenie i ponowne załączenie napięcia, są dla silników stanami elektromechanicznymi nieustalonymi, których analiza jest przeprowadzona z wykorzystaniem modelu matematycznego silnika.

2. Transformacja uzwojenia trójfazowego do układu α, β

Charakterystyka mechaniczna $T_e = f(\omega_m)$ silnika indukcyjnego klatkowego musi spełniać określone wymagania, aby silnik wypełniał swoją funkcję. Wymagania te narzuca maszyna robocza i są spełnione przy zasilaniu silnika napięciem trójfazowym znamionowym U_N i częstotliwości znamionowej $f_1 = f_N = 50$ Hz. Wymagania te dotyczą (rys. 1):

- momentu rozruchowego, zwykle $1{,}8T_N < T_r < 2{,}2T_N$;
- momentu minimalnego, zwykle $T_{min} > 1{,}5T_N$;
- momentu maksymalnego (krytycznego), zwykle $2{,}2T_N < T_k < 3T_N$

oraz dopuszczalnego, ze względów na temperaturę maksymalną uzwojenia wirnika, czasu rozruchu t_{roz} równego kilku do kilkunastu sekund, który zależy od rodzaju klatki wirnika i mocy znamionowej silnika.

Wymagane wartości momentu T_r i T_{min} wynikają stąd, że napięcie sieci elektroenergetycznej na zaciskach silnika w czasie rozruchu jest zwykle mniejsze od znamionowego, gdyż prąd

Streszczenie: Silniki indukcyjne klatkowe dużej mocy w większości napędów elektrycznych pracują przy zasilaniu bezpośrednim z sieci elektroenergetycznej, pracują zatem jako napędy nieregulowane. Stany dynamiczne związane z: rozruchem, wyłączeniem zasilania i powtórnym załączeniem napięcia, rewersją prędkości obrotowej, oddziałują niekorzystnie na silnik, sieć elektroenergetyczną, na napędzaną maszynę roboczą i elementy przeniesienia napędu (wały, sprzęgła, przekładnie).

Analiza pracy silnika w stanach elektromechanicznie nieustalonych jest przeprowadzona z wykorzystaniem modelu matematycznego silnika w układzie współrzędnych α, β. Dla silnika o parametrach znamionowych: 500 kW; 6000 V, wykorzystując pomiary przy biegu jałowym i w stanie zwarcia, obliczono parametry schematu zastępczego dla współrzędnych α, β. Przeprowadzono symulację komputerową rozruchu silnika przy korzystnej chwili załączenia napięcia i niekorzystnej chwili załączenia napięcia. W pierwszym przypadku wartości udarowe prądu rozruchowego i momentu rozruchowego są mniejsze i wynoszą: $I_{ud\,min} = 6I_N$, $T_{ud\,min} = 4{,}5T_N$. W drugim przypadku wartości udarowe prądu rozruchowego i momentu rozruchowego są maksymalne i wynoszą: $I_{ud\,max} = 8I_N$, $T_{ud\,max} = 8{,}5T_N$.

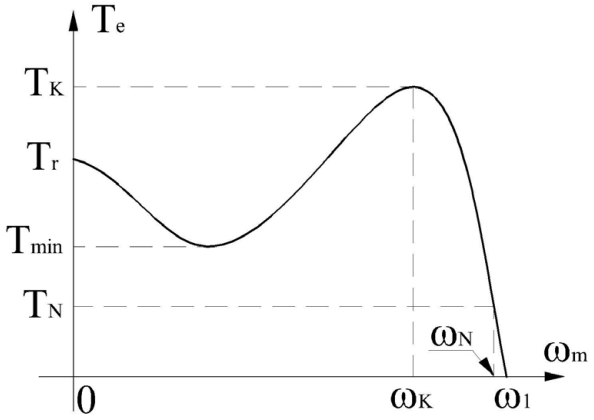
Słowa kluczowe. Silnik indukcyjny, współrzędne α, β, model matematyczny, rozruch

A DYNAMIC MODEL OF A SQUIRREL-INDUCTION MOTOR

Abstract: *High power cage induction motors work, in most electric drives, with direct supply from the power grid, therefore they work as unregulated drives. Dynamic states are associated with: start, turning the power off and re-switching on, rotation reverse, they have an adverse effect on the motor, on the electricity network, on the driven machine and power train components (shafts, clutches, gears).*

The analysis of motor's operation in electro-mechanically unsteady states are carried out using the mathematical model of the engine in the α, β coordinate system. For a motor with rated parameters: 500 kW; 6000 V, p = 2, using idle and short circuit measurements, the equivalent circuit diagram parameters for the α, β coordinates were calculated. Computer simulation of the motor's start-up was carried out at the favorable and unfavorable moment of switching on the voltage. In the first case, the shock values of the starting current and the starting torque are minimal and are: $I_{ud\,min} = 6I_N$, $T_{ud\,min} = 4{,}5T_N$. In the second case, the shock values of the starting current and the starting torque are maximal and are: $I_{ud\,max} = 8I_N$, $T_{ud\,max} = 8{,}5T_N$.

Keywords. Induction motor, co-ordinates α, β, mathematical model, start-up



Rys. 1. Charakterystyka elektromechaniczna silnika indukcyjnego

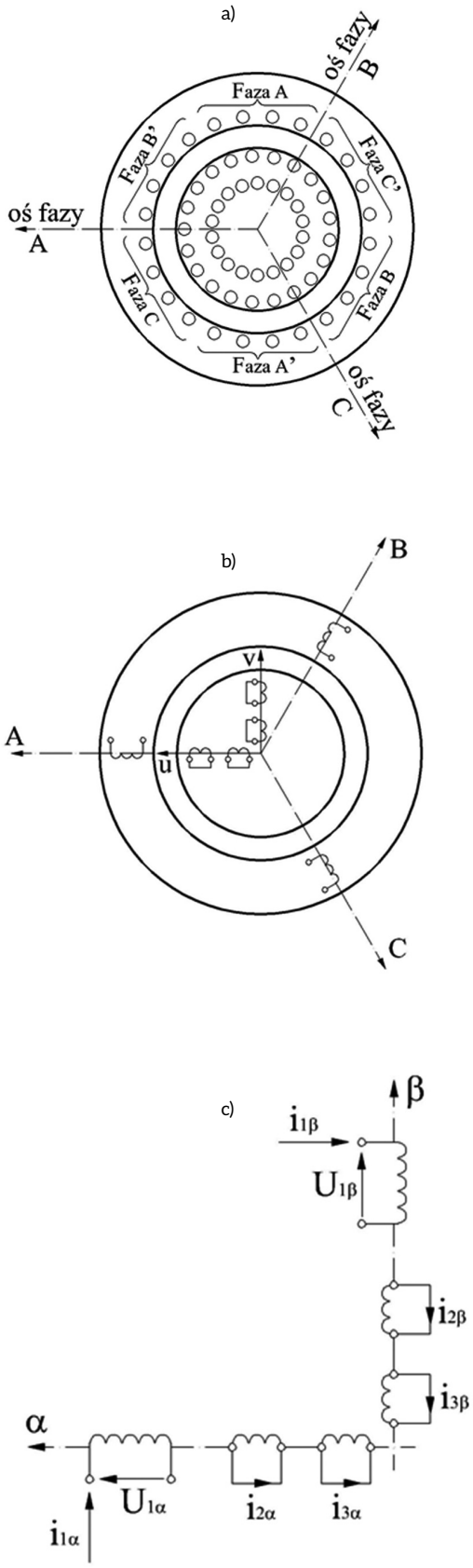
rozruchowy powoduje większe spadki napięcia sieci. Moment elektromagnetyczny silnika jest funkcją kwadratu napięcia i w tych warunkach silnik powinien dokonać rozruchu przy obciążeniu momentem znamionowym. Moment maksymalny T_k determinuje maksymalne przyspieszenie układu w czasie rozruchu i np. w przypadku taśmociągu może powodować dużą siłę naciągu taśmy, a nawet jej zerwanie.

Spełnienie tych wymagań uzyskuje się przez odpowiednie ukształtowanie klatki uzwojenia wirnika. W silnikach przewidzianych do napędów maszyn roboczych o częstych rozruchach i krótkich czasach rozruchu są stosowane wirniki z uzwojeniem dwuklatkowym z prętami okrągłymi, a w silnikach przewidzianych do napędu maszyn roboczych o długim czasie rozruchu stosowane są wirniki głębokożłobkowe. Jedno i drugie rozwiązanie uzwojeń wirników w elektrycznych schematach zastępczych silników aproksymuje się dwoma uzwojeniami zwartymi (rys. 2) [5, 7].

Uzwojenie wirnika wiruje, co powoduje, że sprzężenie magnetyczne tego uzwojenia z uzwojeniem stojana jest funkcją czasu. Aby sprzężenie to uniezależnić od czasu, stosuje się różne transformacje. W literaturze [4] omówiono sześć przypadków takich transformacji. Tutaj posłużymy się transformacją uzwojeń stojana i wirnika na dwuosiowy układ współrzędnych α, β, nieruchomy względem stojana, przy czym oś α pokrywa się z osią fazy A (rys. 2), ponadto uzwojenie wirnika jest sprowadzone na napięcie i częstotliwość uzwojenia stojana.

Transformacja jest przeprowadzona przy założeniach:

- siła magnetomotoryczna wypadkowa uzwojeń stojana Θ_1 wzbudzana przez prądy stojana $I_1 \in (I_A, I_B, I_C)$ i przez prądy I_α, I_β jest taka sama, to samo dotyczy smm Θ_2 wzbudzanej przez prądy w uzwojeniach wirnika;
- liczba zwojów wszystkich uzwojeń jest identyczna($N_\alpha = N_\beta = N_1 = N_{2\alpha} = N_{2\beta} = N_{3\alpha} = N_{3\beta}$);
- rezystancje: $R_{1\alpha} = R_{1\beta} = R_1$, $R_{2\alpha} = R_{2\beta} = R_2$, $R_{3\alpha} = R_{3\beta} = R_3$;
- indukcyjności uzwojeń: $L_{1\alpha} = L_{1\beta} = L_1$, $L_{2\alpha} = L_{2\beta} = L_2$, $L_{3\alpha} = L_{3\beta} = L_3$.



Rys. 2. Kolejne etapy transformacji uzwojeń silnika indukcyjnego klatkowego z układu trójfazowego do układu dwuosiowego α, β: a – przekrój obwodu magnetycznego; b – schematyczne przedstawienie uzwojeń; c – uzwojenia w osiach α, β nieruchomych względem stojana

Zgodnie z założeniami równania napięć w układzie α, β

$$U_{1\alpha}(t) = \frac{3}{2}U_{1A}(t) = U_{1mA}\sin(\omega t - \varphi)$$
$$U_{1\beta}(t) = \frac{3}{2}U_{1mA}\cos(\omega t - \varphi) \quad (1)$$

Transformacja odwrotna napięcia i prądu w fazie A

$$U_{1A}(t) = \frac{2}{3}U_{1\alpha}(t)$$
$$I_{1A}(t) = \frac{2}{3}I_{1\alpha}(t) \quad (2)$$

Zestaw równań napięciowo-prądowych silnika we współrzędnych α, β, dla schematu jak na rys. 2 c:

$$u_{1\alpha} = R_1 i_{1\alpha} + \frac{d\Psi_{1\alpha}}{dt}$$
$$0 = \frac{R_2}{s} i_{2\alpha} + \frac{d\Psi_{2\alpha}}{dt} \quad (3)$$
$$0 = \frac{R_3}{s} i_{3\alpha} + \frac{d\Psi_{3\alpha}}{dt}$$

$$u_{1\beta} = R_1 i_{1\beta} + \frac{d\Psi_{1\beta}}{dt}$$
$$0 = \frac{R_2}{s} i_{2\beta} + \frac{d\Psi_{2\beta}}{dt} \quad (4)$$
$$0 = \frac{R_3}{s} i_{3\beta} + \frac{d\Psi_{3\beta}}{dt}$$

i równania momentów

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1}{J}[T_e(t) - T_{ob}(t)]$$
$$T_e(t) = p\frac{P_\Psi(t)}{\omega_1} \quad (5)$$
$$\omega_m = \frac{1}{p}\omega_1[1 - s]$$

Moc $P_\Psi(t)$, przy pominięciu strat w obwodzie magnetycznym:

$$P_\Psi(t) = u_{1\alpha}i_{1\alpha} + u_{1\beta}i_{1\beta} - R_1\left(i_{1\alpha}^2 + i_{1\beta}^2\right) \quad (6)$$

Przy czym napięcia na uzwojeniach zasilanych

$$u_{1\alpha} = \frac{3}{2}\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}U\sin(\omega_1 t - \varphi)$$
$$u_{1\beta} = \frac{3}{2}\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}U\cos(\omega_1 t - \varphi) \quad (7)$$

gdzie: s jest poślizgiem, a $U/\sqrt{3}$ – napięcie fazowe w układzie 3-fazowym, a razy $\sqrt{2}$ jest napięciem fazowym w układzie α, β.

Strumień sprzężony dla uzwojenia skupionego Ψ = NΦ, gdzie N oznacza liczbę zwojów uzwojenia, a Φ strumień magnetyczny. Dla uzwojeń rozłożonych $\Psi = \sum_{i=1}^{n}\Phi_i$. Pojęcie strumień sprzężony Ψ wykorzystuje się do definicji indukcyjności uzwojenia. Jeżeli przez uzwojenie płynie prąd I i wzbudza on strumień sprzężony Ψ, to indukcyjność uzwojenia wynosi

$$L = \frac{\Psi}{I} \quad (8)$$

Jest to wzór definicyjny indukcyjności.

W naszym modelu indukcyjności L, jako parametry schematu zastępczego, są znane albo z obliczeń projektowych albo z pomiarów. Zatem równanie (8) wykorzystamy do obliczania strumieni sprzężonych Ψ ze znanych wartości indukcyjności L. Strumienie sprzężone poszczególnych uzwojeń w modelu α, β zapiszemy następująco

$$\Psi_{1\alpha} = L_1 i_{1\alpha} + L_{12} i_{2\alpha} + L_{13} i_{3\alpha}$$
$$\Psi_{2\alpha} = L_{12} i_{1\alpha} + L_2 i_{2\alpha} + L_{23} i_{3\alpha}$$
$$\Psi_{3\alpha} = L_{13} i_{1\alpha} + L_{23} i_{2\alpha} + L_3 i_{3\alpha}$$
$$\Psi_{1\beta} = L_1 i_{1\beta} + L_{12} i_{2\beta} + L_{13} i_{3\beta} \quad (9)$$
$$\Psi_{2\beta} = L_{12} i_{1\beta} + L_2 i_{2\beta} + L_{23} i_{3\beta}$$
$$\Psi_{3\beta} = L_{13} i_{1\beta} + L_{23} i_{2\beta} + L_3 i_{3\beta}$$

Zestaw równań (3) do (6) jest rozwiązywalny przy:

- zadanym napięciu zasilającym międzyprzewodowym o wartości skutecznej U i pulsacji $\omega = 2\pi f_1$;
- zadanym momencie obciążenia T_{ob};
- znanej liczbie par biegunów p;
- znanych parametrach maszyny; rezystancjach i indukcyjnościach:

  R_1; $L_1 = L_{1\sigma} + L_\mu$; $L_{12} = L_{13} = L_\mu$ – rezystancja i indukcyjności jednej fazy uzwojenia stojana w układzie gwiazdy,

  R_2, $L_2 = L_{2\sigma} + L_\mu$; $L_{23} = L_\mu$ R_3; $L_3 = L_{3\sigma} + L_\mu$ – rezystancje i indukcyjności jednej fazy ekwiwalentnego uzwojenia trójfazowego wirnika stransformowanego na układ gwiazdy. Ponieważ liczba zwojów $N_\alpha = N_\beta = N_A = N_B = N_C$, to zakłada się, że rezystancje R_1, R_2, R_3 i indukcyjności L_1, L_2, L_3, L_{12}, L_{13}, L_{23} są takie same w układzie α, β.

Kąt φ określa wartość chwilową napięcia w fazie A w czasie załączenia. Rozwiązując te równania, kąt φ można zmieniać parametrycznie, można obliczyć przebiegi: moment elektromagnetyczny $T_e(t)$, prąd fazy A silnika $i_A = \frac{2}{3}i_{1\alpha}$ i prędkość kątową $\omega_m(t)$. Z przebiegu momentu można określić moment udarowy T_{ud}, z przebiegu prądu prąd udarowy I_{ud}, a z przebiegu prędkości kątowej czas rozruchu t_{roz}. Przeprowadzając obliczenia symulacyjne, przy parametrycznej zmianie wartości kąta φ, można wyznaczyć wartości minimalne i maksymalne momentu udarowego $T_{ud\ min}$ i $T_{ud\ max}$ i prądu udarowego $I_{ud\ min}$ i $I_{ud\ max}$.

3. Stany dynamiczne silnika indukcyjnego

Rozruch silnika indukcyjnego przy bezpośrednim załączeniu do sieci elektroenergetycznej jest jednym z trudniejszych stanów dynamicznych. Charakterystyki rozruchowe zostaną zaprezentowane dla silnika SVf 400 x4 o parametrach znamionowych: 500 kW; 6000 V; 50 Hz; 51 A; 1470 obr./min, $\cos\varphi_N = 0{,}91$; sprawność $\eta_N = 0{,}95$; $p = 2$.

Jednofazowy schemat zastępczy silnika dla fazy α przedstawiono na rys. 3. Identyczny schemat zastępczy ma faza β.

Z obliczeń projektowych silnika określono:

- parametry uzwojenia stojana: $R_1 = 0{,}75\ \Omega$, $X_{1\sigma} = 5{,}1\ \Omega$, $X_\mu = 250\ \Omega$,

z danych tych obliczono

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{\omega_1} = \frac{5{,}1}{314} = 1{,}6 \cdot 10^{-2}\ \text{H}$$
$$L_\mu = \frac{X_\mu}{\omega_1} = \frac{250}{314} = 0{,}8\ \text{H}$$

- parametry uzwojenia wirnika sprowadzone na układ trójfazowy oraz na napięcie i częstotliwość stojana:
  - dla stanu zwarcia ($\omega_m = 0$): $R_{2z} = 1{,}8\ \Omega$, $X_{2z} = 4{,}3\ \Omega$,
  - dla pracy znamionowej (ω_{mN}): $R_{2N} = 0{,}65\ \Omega$, $X_{2N} = 8{,}8\ \Omega$.

Z parametrów tych oblicza się parametry modelu matematycznego charakteryzujące wirnik R_2, $L_{2\sigma}$, R_3, $L_{3\sigma}$. Obliczenia prowadzimy metodą przybliżoną.

Dla pracy znamionowej silnika (ω_{mN}) częstotliwość w uzwojeniu wirnika jest równa częstotliwości poślizgu $f_2 = sf_1 = 1$ Hz, o rozpływie prądów $i_{2\alpha}$, $i_{3\alpha}$ decydują rezystancje uzwojeń R_2 i R_3, gdyż $R_2 > 2\pi f_2 L_{2\sigma}$; $R_3 > {}_2\pi f_2 L_{3\sigma}$.

W pierwszej iteracji zakładamy

$$R_2 = R_{2z} = 1{,}8\ \Omega$$
$$R_3 = R_{2N} = 0{,}65\ \ \Omega$$

i obliczamy rezystancję zastępczą

$$R_{zast} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \cdots = 0{,}477\ \Omega$$

W następnej iteracji podwyższa się wartość rezystancji w gałęziach równoległych w stosunku

$$\frac{R_{2N}}{R_{zast}} = \frac{0{,}65}{0{,}477} = 1{,}36$$

i otrzymuje się nowe wartości rezystancji

$$R_2 = 1{,}8 \cdot 1{,}36 = 2{,}45\ \Omega,\ R_3 = 0{,}65 \cdot 1{,}36 = 0{,}88\ \Omega$$

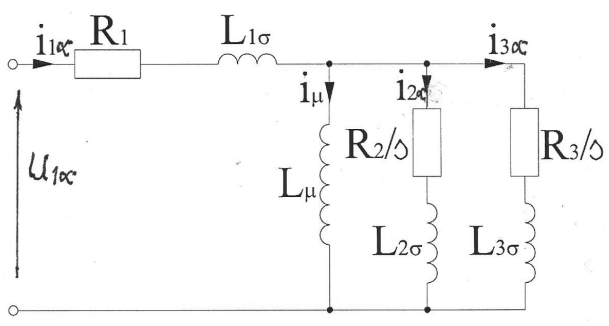
które przyjmuje się jako parametry modelu matematycznego silnika.

Dla stanu zwarcia silnika ($\omega_m = 0$) spadek napięcia na reaktancji rozproszenia wirnika jest większy od spadku napięcia na rezystancji $R_2 < 2\pi f_1 L_{2\sigma}$; $R_3 < 2\pi f_1 L_{3\sigma}$. Zakłada się spadek napięcia na rezystancji równy zero i przyjmuje się wartości reaktancji w gałęziach równoległych,

$$X_{2\sigma} = X_{2z} = 4{,}3\ \Omega, \quad X_{3\sigma} = X_{2N} = 8{,}8\ \Omega$$

Podobnie jak dla rezystancji oblicza się reaktancję zastępczą

$$X_{zast} = \frac{X_{2\sigma} X_{3\sigma}}{X_{2\sigma} + X_{3\sigma}} = \cdots = 2{,}9\ \Omega$$



Rys. 3. Jednofazowy schemat zastępczy silnika przy pominięciu mocy strat w żelazie $\Delta P_{fe} = 0$

i współczynnik korygujący

$$\frac{X_{2z}}{X_{zast}} = \frac{4{,}3}{2{,}9} = 1{,}48$$

co pozwala obliczyć końcową wartość reaktancji aproksymujących

$$X_{2\sigma} = 4{,}3 \cdot 1{,}48 = 6{,}36\ \Omega, \quad X_{3\sigma} = 8{,}8 \cdot 1.48 = 13{,}02\ \Omega$$

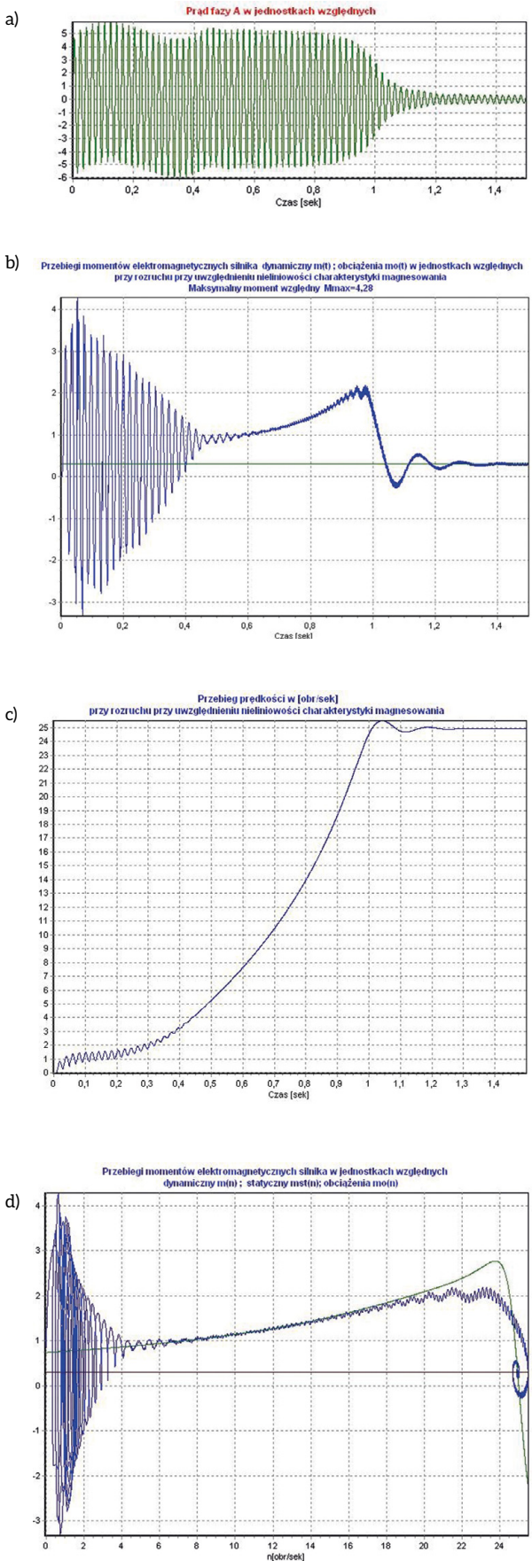
które przyjmuje się jako parametry modelu matematycznego silnika.

$$L_{2\sigma} = \frac{X_{2\sigma}}{\omega_1} = \frac{6{,}36}{314} = 2 \cdot 10^{-2}\ \text{H}$$
$$L_{3\sigma} = \frac{X_{3\sigma}}{\omega_1} = \frac{13{,}02}{314} = 4{,}1 \cdot 10^{-2}\ \text{H}$$

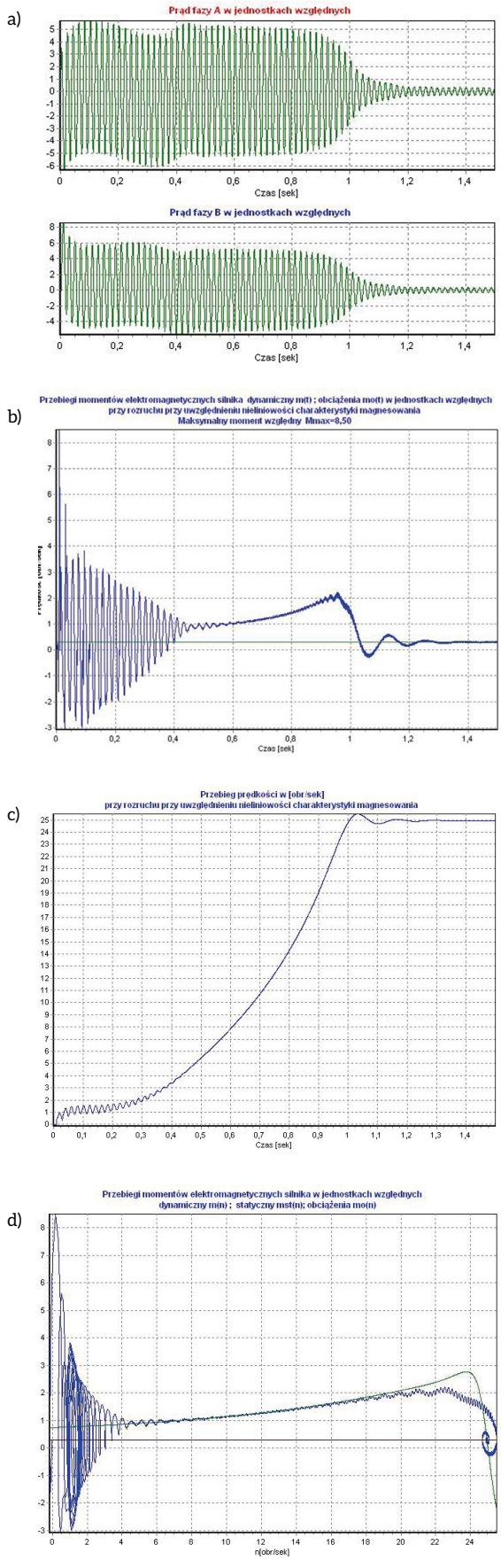
Metoda obliczania parametrów wirnika R_2, $L_{2\sigma}$, R_3, $L_{3\sigma}$ jest metodą przybliżoną. Błąd popełniony w tym przypadku jest znacznie mniejszy niż np. błąd wynikający ze zmiany rezystancji uzwojeń przy wzroście temperatury uzwojeń miedzianych. Na przykład w czasie rozruchu silnika temperatura uzwojenia wirnika może się zmienić nawet o 200°C, co powoduje wzrost rezystancji uzwojenia miedzianego o 80%. W przedstawionym modelu obliczeń rezystancję uzwojeń uważa się za stałą. Zatem obliczanie parametrów modelu matematycznego z większą dokładnością nie podwyższy dokładności analizy stanów dynamicznych silnika.

4. Przebiegi prądu i momentu w czasie rozruchu silnika

Dla projektanta i użytkownika układu napędowego istotne są wartości maksymalne prądu i momentu elektromagnetycznego, a ze względu na sprzęgło i maszynę roboczą – pochodna momentu $dT_e(t)/dt$, która determinuje zryw. Wartości ekstremalne występują w czasie załączenia napięcia. Napięcie może być załączane na silnik nieruchomy (rozruch silnika), a także na silnik wirujący, np. po chwilowym zaniku napięcia i ponownym jego załączeniu. Na rysunku 4 przedstawiono przebiegi parametrów elektromechanicznych silnika w czasie rozruchu. Napięcie załączono na silnik niewzbudzany $\Psi = 0$ i niewirujący $\omega_m = 0$.



Rys. 4. Charakterystyki rozruchowe silnika indukcyjnego klatkowego SVf 400 x4: a – prądu i(t); b – momentu elektromagnetycznego $T_e(t)$; c – prędkości kątowej $\omega_m(t)$; d – $T_e(t) = f(\omega_m(t))$, w czasie rozruchu ($\Psi = 0$, $\omega_m = 0$) przy korzystnej chwili załączenia napięcia



Rys. 5. Charakterystyki rozruchowe silnika indukcyjnego klatkowego SVf 400–x4: a – prądu $i_\alpha(t)$ i $i_\beta(t)$; b – momentu elektromagnetycznego $T_e(t)$; c – prędkości kątowej $\omega_m(t)$; d – $T_e(t) = f(\omega_m(t))$, w czasie rozruchu ($\Psi = 0$, $\omega_m = 0$), przy niekorzystnej chwili załączenia napięcia

W tym stanie załączenia napięcia wartości maksymalne prądu i momentu elektromagnetycznego oraz ich przebiegi zależą od wartości chwilowych napięcia w momencie załączenia, czyli od kąta φ w równaniu (5). Obliczenia przeprowadzono dla silnika o parametrach podanych w punkcie 3, przy załączeniu napięcia znamionowego i przy założeniu momentu obciążenia $T_{ob} = 0$ oraz momentu bezwładności samego silnika $J = 40$ kgm^2, jest to rozruch samego silnika. Na rysunku 4 przedstawiono najkorzystniejszy przypadek rozruchu silnika.

Wartości udarowe prądu rozruchowego i momentu rozruchowego są w tych warunkach minimalne i wynoszą: $I_{ud\ min} = \sqrt{2} \cdot 6I_N = 8{,}5I_N$, $T_{min} = 4{,}5T_N$, a czas rozruchu wynosi $t_{roz} \approx 1$ s.

Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe przebiegi prądu, momentu i prędkości obrotowej przy ekstremalnie niekorzystnym załączeniu napięcia.

Wartości udarowe prądu rozruchowego i momentu rozruchowego są w tych warunkach maksymalne i wynoszą: $I_{ud\ max} = \sqrt{2} \cdot 8I_N = 13{,}3I_N$, $T_{ud\ max} = 8{,}5T_N$, a czas rozruchu wynosi $t_{roz} \approx 1$ s.

Rozruchy silników indukcyjnych odbywają się zwykle przy obciążeniu silnika $T_{ob} > 0$ i przy dodatkowym momencie bezwładności $(J + J_d)$ maszyny roboczej. Warunki te nie mają wpływu na wartości maksymalne (udarowe) prądu i momentu, gdyż wartości udarowe występują, gdy wirnik stoi ($w_m = 0$). Moment obciążenia T_{ob} i moment bezwładności J_d mają wpływ na czas rozruchu t_r. Załączone na rysunkach 4 i 5 przebiegi dowodzą, że największy wpływ na wartości udarowe prądu i momentu ma kąt φ determinujący chwilową wartość napięcia w czasie załączenia. Przy zmianie kąta φ załączenia napięcia wartości udarowe prądu i momentu elektromagnetycznego mieszczą się między przebiegami pokazanymi na rysunkach 4 i 5.

Rzeczywiste przebiegi momentu elektromagnetycznego mogą być mniejsze, gdyż spadek napięcia na impedancjach sieci elektroenergetycznej, spowodowany przez prąd rozruchowy, obniża napięcie na zaciskach silnika, prąd udarowy zależy liniowo od napięcia, a moment elektromagnetyczny zależy od kwadratu napięcia. Obliczenia symulacyjne, których wyniki są podane na rysunkach 4 i 5, były przeprowadzone przy $U = \text{const}$.

Zgoła inne skutki dynamiczne wystąpią w czasie tak zwanych rozruchów przerywanych, gdy ($\Psi > 0$, $\omega_m > 0$). Stany ekstremalne pod względem dynamicznym będą zależeć od aktualnego wzbudzenia silnika Ψ i aktualnej prędkości kątowej ω_m oraz kąta fazowego φ. Najbardziej niekorzystny stan wystąpi, gdy napięcie sieci i siła elektromotoryczna indukowana w uzwojeniu twornika będą w przeciwfazie, to jest gdy przesunięcie fazowe między nimi będzie równe 180°.

Stany chwilowego zaniku napięcia w sieci elektroenergetycznej występują także w czasie pracy silnika, gdy nastąpi wyłączenie napięcia i ponowne szybkie załączenie, czas przerwy jest mały i strumień wzbudzenia Ψ nie zaniknie do zera i wirnik wiruje.

5. Podsumowanie

Silniki indukcyjne klatkowe dużej mocy w większości napędów elektrycznych pracują przy zasilaniu bezpośrednim z sieci elektroenergetycznej, pracują zatem jako napędy nieregulowane. Stany dynamiczne związane z:

- rozruchem;
- wyłączeniem zasilania i powtórnym załączeniem napięcia;
- rewersją prędkości obrotowej

oddziałują niekorzystnie na silnik, sieć elektroenergetyczną, na napędzaną maszynę roboczą i elementy przeniesienia napędu (wały, sprzęgła, przekładnie). A także na aparaturę łączeniową.

Stany nieustalone silników indukcyjnych klatkowych w czasie rozruchu są dobrze rozpoznane tak pod względem dynamicznym, jak i cieplnym. Wartości udarowe prądu rozruchowego zawierają się w granicach $8{,}5I_N \le I_{ud} \le 11{,}3I_N$, a momentu rozruchowego $4{,}5T_N \le T_{ud} \le 8{,}5T_N$. Wymienione wartości udarowe występują przy załączeniu silnika do sieci, to jest przy prędkości obrotowej równej zero. Na wartości udarowe prądu i momentu nie ma wpływu moment obciążenia maszyny roboczej.

Problemy cieplne w czasie rozruchu silnika są związane z przegrzewaniem się uzwojenia klatkowego i nierównomiernym rozkładem temperatury w prętach. Problemy cieplne determinuje czas rozruchu, a więc moment bezwładności sprowadzony na wał silnika wszystkich mas w ruchu obrotowym i liniowym oraz moment obciążenia maszyny roboczej.

Silnik indukcyjny będzie pracował niezawodnie przez długie lata, jeśli konstrukcja wirnika będzie dostosowana do warunków rozruchowych stwarzanych przez maszynę roboczą. Wirnik dwuklatkowy z prętami okrągłymi wytrzymuje dużą liczbę rozruchów (nawet kilkadziesiąt tysięcy), których czas jest krótki (sekundy). Silniki z wirnikami głębokożłobkowymi mają znacznie dłuższy dopuszczalny czas rozruchu, lecz liczba rozruchów niszcząca uzwojenie wynosi kilka tysięcy.

Literatura

[1] Clarke E.: *Circuit Analysis of A. C. Power Systems. V. 1, 2*. New York, 1943, 1952.

[2] Glinka T.: *Dynamika silnika indukcyjnego i synchronicznego po wyłączeniu i ponownym załączeniu napięcia*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe" 113/2017.

[3] Glinka T.: *Maszyny elektryczne i transformatory*. PWN, Warszawa 2018.

[4] Kalus M., Skoczkowski T.: *Sterowanie napędami asynchronicznymi i prądu stałego*. Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, Gliwice 2003.

[5] Казовский Е.Я.: Переходные процессы в электрических машинах переменнго тока. Издательство Академий наук CCCP, 1962.

[6] Park R.H.: *Two-reaction Theory of Synchronous Machines*. Trans. AIEE. Part I, v. 48, 1929, str 716; part II v. 52. 1933, s. 352.

[7] Paszek W.: *Stany nieustalone maszyn elektrycznych prądu przemiennego*. WNT, Warszawa 1986.

[8] Puchała A.: *Dynamika maszyn i układów elektromechanicznych*. PWN, Warszawa 1977.

[9] Puchała A.: *Elektromechaniczne przetworniki energii*. Wyd. BOBRME KOMEL, Katowice 2002.

[10] Puchała A., Noga M., Gołębiowski L.: *Zbiór zadań z dynamiki układów elektromechanicznych*. PWN, Warszawa 1979.

artykuł recenzowany

Tadeusz Glinka – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL

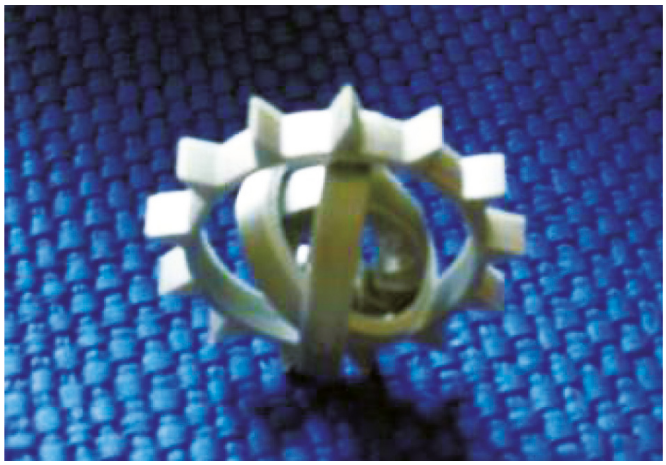
Drukowanie w 3D i jego unikalne zalety

Helena Dodziuk

Zalety druku 3D

Druk 3D robi tak oszałamiającą karierę, ponieważ posiada wiele korzystnych właściwości, w zasadniczy sposób różniących go od tradycyjnych metod wytwarzania. Mamy tu do czynienia z wartością dodaną związaną z tą metodą produkcji. Dzięki technologii można wytwarzać „za jednym zamachem" przedmioty, których nie da się uzyskać w taki sposób przy zastosowaniu żadnej innej metody przemysłowej. Mówi się nawet o „niemożliwej geometrii"[1], ponieważ 3DP umożliwia:

1. **Drukowanie obiektów o bardzo skomplikowanych kształtach, których wytworzenie inną metodą jest trudne, drogie, czasami wręcz niemożliwe**. Chyba najlepiej ilustrują to dysze do paliwa[2] w silnikach lotniczych wydrukowane w 3D przez GE we współpracy z firmą Snecma (SAFRAN). Pozwoliło to zmniejszyć liczbę części składowych tych dysz o bardzo złożonym kształcie z 19 do 1. W ten sposób uniknięto konieczności montażu, co pozwoliło na zmniejszenie kosztów o 75%[3]. Co więcej, w maju 2015 roku samoloty odrzutowe Airbus A350 zawierały już ponad tysiąc drukowanych w 3D części[4]. W kwietniu 2016 roku GE Aviation dostarczył koncernowi Airbus do wmontowania do samolotów dwa pierwsze silniki wyposażone w dysze do paliwa wydrukowane w 3D[5], a następnie uruchomił program mający na celu produkcję 45 tys. takich dysz rocznie[6]. Eliminacji montażu przy produkcji dysz metodą druku 3D oraz związanej z tym obniżki kosztów wytwarzania nie zauważył prof. Matthias Holweg z Oxfordu w artykule *The Limits of 3D Printing*[7] opublikowanym w „Harvard Business Review", który zostanie omówiony później jako przykład dezinformacji często pojawiającej się w dziedzinie 3DP.
2. **Drukowanie części zawierających puste wewnętrzne przestrzenie.** Takie drukowanie to oszczędność pieniędzy, ponieważ nie ma sensu wypełnianie wnętrza modelu kosztownym materiałem. Daje to w wyniku lżejsze samoloty, helikoptery, samochody oraz pojazdy kosmiczne[8], które oprócz zużywania mniejszej ilości materiałów potrzebują mniej paliwa i wydzielają mniej gazów spalinowych. Czasami pusta część przestrzeni jest wypełniona siatką, która przyczynia się do zwiększenia stabilności i wytrzymałości lżejszego obiektu.
3. **Drukowanie części ruchomych.** Drukowanie w 3D pozwala na jednoczesną i całościową produkcję przedmiotów z częściami ruchomymi. Prawdopodobnie najczęściej pokazywanym przykładem tego rodzaju jest model starego przyrządu, astrolabium (rys. 1), używanego przez astronomów i nawigatorów od starożytności aż do renesansu. Innym przykładem są trzy przeplecione pierścienie[9] (w matematyce noszące nazwę linku, a w chemii katenanu), których druk można zobaczyć na YouTubie[10], co może znaleźć praktyczne zastosowania.
4. Skrócenie czasu oraz niskie koszty wytworzenia i testowania prototypu wraz z łatwością jego ulepszenia należą do najważniejszych zalet 3DP; szybkie prototypowanie było pierwszą dziedziną licznych zastosowań druku 3D i wraz z wytwarzaniem narzędzi stanowi do dziś trzon jego zastosowań. Korzystniejsza staje się również sytuacja nowych startupów, ponieważ dużo łatwiej i taniej jest wytworzyć prototyp i – co ważniejsze – sprawdzić sam pomysł, a następnie dopracować go[11]. Uważa się również, że ze względu na łatwość prototypowania druk 3D zrewolucjonizował całą dziedzinę projektowania, co widać wyraźnie na przykładzie przemysłu motoryzacyjnego[12], ale nie tylko. Jak ujął to największy autorytet w dziedzinie druku 3D Terry Wohlers: „Co mają wspólnego największy niemiecki producent samochodów, chirurg z Brazylii, wytwórca urządzeń do produkcji żywności i wielki producent zabawek? Wszyscy oni [i nie tylko oni – przypis H.D.] są zainteresowani metodami designu opartymi na druku 3D"[13].
5. Do innych zalet druku 3D należą: zmniejszanie kosztów związanych z opracowaniem i wytwarzaniem narzędzi do produkcji[14]. Jest to tzw. szybkie wytwarzanie narzędzi. Zwrócono również uwagę na to, że łatwy i tani druk nawet prostych narzędzi, np. uchwytów[15], zmienia procesy produkcyjne, ponieważ są one tanie (co szczególnie ważne dla małych przedsiębiorstw) i nie są uniwersalne, a dopasowane do konkretnego projektu. Warto dodać, że dodatkowymi zaletami 3DP są:



Rys. 1. Model astrolabium wydrukowany w 3D „za jednym zamachem"

© H. Dodziuk

- możliwość samodzielnego wytworzenia obiektu, gdy nie można go znaleźć; wykorzystano to np. przy naprawach w nowojorskim metrze starych urządzeń, wytworzonych przed II wojną światową przez dziś już nieistniejące firmy[16];
- ważną zaletą jest również wykorzystanie tej metody wytwarzania w dalekich izolowanych społecznościach (ang. *remote communities*)[17].

Zalety wprowadzenia druku 3D w przedsiębiorstwach podsumowano na blogu sculpteo, wskazując, poza wyżej wymienionymi, na możliwość przetestowania i wyboru tańszych materiałów[18]. Oprogramowanie tej firmy posiada narzędzie pozwalające na „robienie dziur" (ang. *hollowing tool*), czyli niecałkowite wypełnienie drukowanych obiektów.

Stosowanie druku 3D w medycynie to obszar, w którym ta technologia przynosi głębokie zmiany:

1. Jedną z najbardziej atrakcyjnych, dodatkowych cech zastosowania druku 3D w medycynie jest **personalizacja**, która pozwala na drukowanie w 3D narzędzi chirurgicznych, np. do specjalistycznych operacji na niemowlętach i płodach[19] w łonie matki lub do produkcji **niedrogich narzędzi chirurgicznych**[20], zastępujących tradycyjne narzędzia ze stali nierdzewnej narzędziami z tworzyw sztucznych. Innym przykładem są różnego rodzaju **spersonalizowane implanty**[21] wydrukowane w 3D z tytanu lub z tworzywa sztucznego (PEEK, Peck lub materiału CT bone®[22], zawierającego fosforan wapnia, który jest głównym składnikiem naturalnych kości), a także **przeszczepy naczyniowe**[23]. **Możliwość przetrenowania zabiegu**[24] przed jego wykonaniem pomaga chirurgom w przygotowaniu się do operacji; jest to tzw. wirtualne planowanie operacji (ang. *virtual surgical planning*).
2. Jednak wydaje się, że w medycynie druk 3D największy wpływ wywiera na **protetykę** i **implantologię**. Należy tu wymienić, obok personalizacji i komfortu pacjenta, cenę, szybkość wykonania oraz estetykę. Ten ostatni, może mniej ważny aspekt dotyczy wyglądu protezy.

   Joel Gibbard, założyciel spółki Open Bionics[25], powiedział na 3D Print Show w 2015 roku w Berlinie, że przed zajęciem się protezami narządów ruchu przepytał osoby bez kończyn, aby dowiedzieć się, jakiego rodzaju protezy chcieliby mieć. Oprócz oczywistych odpowiedzi, że powinny być one lekkie i wygodne w obsłudze, dostał jedną pozornie zadziwiającą odpowiedź. Dla młodych osób po amputacji proteza nie powinna naśladować ludzkiej ręki, ma być ona raczej gadżetem, np. z „Gwiezdnych Wojen", z pulsującym światełkiem. Według Samiya Parveza z firmy Andiamo[26]: „Można go [gorset – przypis H.D.] albo ukryć pod suknią, lub dumnie nosić na wierzchu ozdobiony kryształkami Swarovskiego". Jest to całkowita zmiana nastawienia, najprawdopodobniej związana nie tylko ze zmianą gustów, ale również z gwałtownym spadkiem cen protez wydrukowanych w 3D.

   Jedną z pierwszych i najbardziej znanych opowieści o wydrukowaniu w 3D taniej protezy jest historia 17-letniego wtedy chłopca, Eastona LaChappelle[27]. Dowiedział się

Rys. 2. Młody człowiek bez ręki z protezą wydrukowaną przez firmę Open Bionics

© H. Dodziuk

on, że rodzice siedmioletniej dziewczynki nie mogą sobie pozwolić na nową, kosztującą 80 tys. dolarów protezę ręki, aby zastąpić starą, z której dziewczynka wyrosła. Poruszony tą opowieścią Easton zaprojektował i wykonał, głównie za pomocą drukarki 3D, w pełni funkcjonalną protezę sterowaną przez fale mózgowe dziewczynki, odbierane przez wykonaną również przez Eastona opaskę na czoło. Proteza ta kosztowała mniej niż 500 dolarów, zaś 50 dolarów to najniższa cena wydrukowanej w 3D protezy, o której słyszałam. Takie niedrogie urządzenia poprawiły już życie wielu ofiar wojen oraz innych osób po amputacji albo ludzi, którzy urodzili się z wadami kończyn. Istnieją nawet darmowe projekty DIY (takie jak projekt Eastona LaChappelle[28]) oraz projekty opracowane przez innych ludzi, np. diy-bionic-hand[29], a także specjalne fundusze, które zbierają pieniądze i produkują protezy dla ofiar min piechotnych w Azji i Afryce, i różne inne programy pomocowe z tego zakresu[30]. Należy jednak wspomnieć o tym, że takie bardzo tanie protezy były krytykowane jako niewygodne[31].
3. Warto wspomnieć o próbach zastosowania 3DP do drukowania leków[32].
4. Zupełnie nowa technologia, jaką jest **drukowanie w 3D z wykorzystaniem komórek** jako „atramentu", dopiero się rozwija. Oczekuje się, że w przyszłości przyniesie ona ogromne korzyści. Drukowane w 3D fragmenty skóry będą pomagać w leczeniu poparzonych ofiar. Naukowcy z Wake Forest School of Medicine[33] skonstruowali specjalną drukarkę ze skanerem, który określa wielkość i głębokość rany i przekazuje te dane do drukarki. W odpowiedni sposób zaprogramowana drukarka 3D używa następnie odpowiednich typów komórek do pokrycia różnych miejsc rany. Inny program badawczy, prowadzony przez L'Oreal we współpracy z Organovo, ma na celu wytwarzanie sztucznej skóry do testowania kosmetyków[34]. Naukowcy hiszpańscy donieśli ostatnio (2017) o stworzeniu urządzenia drukującego

ludzką skórę[35]. Organovo projektuje i tworzy strukturalnie i funkcjonalnie dokładne, wydrukowane w 3D modele ludzkich tkanek do badania. Opracowane przez Organovo urządzenie Lab-on-chip exVive3DTM Human Liver Tissue[36], które może wydrukować w 3D tkankę wątroby, zostało zatwierdzone przez amerykańską Agencję ds. Żywności i Leków (ang. *Food and Drug Administration*, FDA) do testowania leków. Oczywiście w perspektywie oczekuje się ogromnego wkładu druku 3D komórek w medycynie regeneracyjnej oraz ograniczenia ilości lub nawet wyeliminowania potrzeby narządów ludzkich do transplantacji. W tym celu drukuje się naczynia krwionośne, które chińscy uczeni wszczepili rezusowi[37], i tkankę tarczycy[38], którą wszczepiono myszy.

Nieco inny w sposobie działania jest BioPen, pozwalający chirurgom przyspieszyć regenerację kości lub chrząstki przez nanoszenie żywych komórek i czynników wzrostu bezpośrednio na ranę. Zasadniczą częścią „atramentu" jest w tym przypadku materiał komórkowy wewnątrz ekstraktu wodorostów (zawierający alginiany), zabezpieczony przez drugą, zewnętrzną warstwę materiału żelowego. Działanie takiej mieszaniny może być spotęgowane przez dodanie czynników wzrostu, leków lub innych substancji wspomagających wzrost i regenerację kości[39] i innych tkanek.

Druk 3D a ekologia

Druk 3D jest z definicji ekologicznym sposobem produkcji, ponieważ (teoretycznie) przy wytwarzaniu tą metodą nie powstają żadne odpady[40], w przeciwieństwie do tradycyjnych, subtraktywnych metod produkcji[41] (takich jak skrawanie), w których nadmiar materiału usuwa się sukcesywnie, dopóki nie uzyska się pożądanego kształtu. Ponadto istnieje wiele przykładów używania odpadów w tej metodzie wytwarzania, np. wykorzystanie elektrośmieci do zbudowania drukarki 3D[42] oraz śmieci jako materiału do drukowania[43]. Opracowano już filamenty wielokrotnego użytku, wykorzystywane m.in. w budownictwie (przoduje w tym chińska firma Win-Sun[44], której doniesienia były kwestionowane[45]), a także w innych dziedzinach. Warto również wspomnieć o możliwości recyklingu zużytych wydrukowanych w 3D obiektów, zwłaszcza że niektóre filamenty składają się z biodegradowalnych plastików, np. polilaktyd (PLA).

Co więcej, zaproponowano drukowanie wielu ekologicznych (ang. *ecofriendly*) urządzeń, takich jak panele fotowoltaiczne, których pliki do wydrukowania w 3D można pobrać z platformy Thingiverse[46], czy turbiny wiatrowe dla małych, oddalonych od świata społeczności[47]. Warto również wymienić specjalne programy stosujące drukowanie w 3D, aby przezwyciężyć zgubne skutki katastrof przyrodniczych, takie jak ożywienie raf koralowych[48]. Zalety 3DP związane z ekologią i edukacją wykorzystali uczniowie z Kentucky w programie ochrony nietoperzy[49]. Chcąc walczyć z gwałtownym spadkiem liczby tych zwierząt w ich stanie, zaprojektowali oni domki dla nietoperzy spełniające kryteria międzynarodowej grupy ekologów zajmujących się nietoperzami i udostępnili swój projekt na platformach

Rys. 3. Czekoladowe globusiki wydrukowane w 3D przez firmę TNO. Dzięki uprzejmości M. Rooversa i firmy TNO

Rys. 4. Kilka przykładów z kolekcji MathArt Dizingofa. Dzięki uprzejmości projektanta Dizingofa

Thingiverse[50] i GrabCad[51]. Wpływ na środowisko druku 3D dyskutowano m.in. w artykule na platformie 3D Printers – *Are Tey Environmentally Friendly?*[52].

Drukowanie w 3D i kreatywność

Można wymienić wiele przykładów innych zastosowań druku 3D z wartością dodaną. Kreatywność w rozwoju tego sposobu produkcji i znalezienie nowych, wręcz niewyobrażalnych jego zastosowań są prawdopodobnie najważniejszą z nich. Stosowanie druku 3D, aby wytworzyć niezbędne części zamienne[53] (zamiast trzymania w magazynach ich kompletu) zlikwidują konieczność ich magazynowania. Na razie trudno przewidzieć, jak filamenty (czyli atramenty do drukarek 3D) pachnące jak jabłka, jagody, winogrona lub truskawki[54] mogą być stosowane, ale z pewnością znajdą one nieszablonowe aplikacje. Nie jestem zwolenniczką hydroponicznego rolnictwa, ale takie systemy wydrukowane w 3D przeznaczone dla rolnictwa miejskiego są imponujące[55]. Dla miłośników słodyczy dobrą wiadomością będzie fakt, że istnieje już wiele drukarek 3D, dzięki którym otrzymać można pyszne i piękne wyroby z cukru, czekolady lub kremów (rys. 3). Alternatywnie druk 3D może pomóc w konwersji nietypowych, lecz globalnie dostępnych składników, takich jak algi, liście buraków lub owady, w smaczne produkty, co pomoże przeciwdziałać niedoborowi żywności w przyszłości. Metoda 3DP jest bardzo inspirująca. Mogłyby one być zrobione inną metodą, ale szybkość prototypowania przeważyła szalę.

Najbardziej oczywista jest kreatywność druku 3D w sztuce. Kopiowanie eksponatów muzealnych i innych obiektów to banał. Ale nowe fascynujące obiekty stworzone przez Dizingofa[56] (rys. 4) lub Widriga[57] wcale nie są banalne. To zadziwiające, jak inspirujący dla małych dzieci jest oparty na nakładaniu warstw

pisak 3 Doodler[58]. W sieci są liczne przykłady drukowanych w 3D instrumentów muzycznych. Niektóre z nich są piękne i/lub intrygujące[59]. Urugwajska grupa muzyczna No Te Va Gustar opublikowała wideo z wykorzystaniem wydrukowanych w 3D instrumentów[60]. Druk w 3D i wirtualna rzeczywistość były również wykorzystane w światowej trasie koncertowej Björk w 2016 roku[61]. Bardzo interesująca jest popowa piosenka szwedzkiego artysty Lekmana *Evening Prayer* na temat wydrukowanego w 3D modelu guza raka[62], która podobno robi duże wrażenie.

Przypisy

1 H. Bensoussan, 5.01.2017, https://www.sculpteo.com/blog/2017/01/05/metal-3d-printing-in-slm-dmls--our-new-offer-in-7-questions/.
2 T. Kellner, 13.11.2017, https://www.ge.com/reports/epiphany-disruption-ge-additivechief-explains-3d-printing-will-upend-manufacturing/.
3 M. Hollweg, 23.06.2015, *The Limits of 3D Printing*, https://hbr.org/2015/06/the-limits-of-3d-printing.
4 D. Simmons, 6.05.2015, https://www.bbc.com/news/technology-32597809.
5 T. Kellner, 19.04.2016, https://www.ge.com/reports/airbus-gets-1st-production-jet-engines-with-3d-printed-parts-from-cfm/.
6 H. Crochet, 25.11.2015, https://www.sculpteo.com/blog/2015/11/25/3d-printing-takes-off-with-aeronautics-aerospace/.
7 M. Hollweg, 23.06.2015, *The Limits of 3D Printing*, https://hbr.org/2015/06/the-limits-of-3d-printing.
8 S. Nathan, 23.08.2011, http://www.technologyreview.com/demo/425133/printing-parts/.
9 https://pl.wikipedia.org/wiki/Katenany.
10 https://www.youtube.com/watch?v=GFVU0poYK1Q.
11 A. Mo, 6.05.2016, https://www.linkedin.com/pulse/how-rapid-prototyping-system-helpsmake-faster-software-alam-mo.
12 M. Mensley, 17.05.2017, https://all3dp.com/3d-printed-car/.
13 T. Wohlers, 8.06.2017, https://3dprint.com/180540/dfam-at--materialise/.
14 C. Wyman, 18.11.2015, http://blog.stratasys.com/2015/11/18/opel-3d-printing/.
15 M. Traczyk, http://blog.zmorph3d.com/3d-printed-jigs-fixtures/.
16 J. Kerns, 27.06.2017, https://www.machinedesign.com/industrial-automation/new-york-citys-subway-metaphor--nations-infrastructure.
17 J. Hauer, 16.01.2017, https://3dprint.com/161809/portability--power-to-3d-printing/.
18 L. Gaget, 14.06.2018, https://www.sculpteo.com/blog/2018/06/14/4-ways-to-reduce-cost-of-production-and-prototyping-with-3d-printing/.
19 Simon, 16.07.2015, http://www.3ders.org/articles/20150716-colorado-doctors-begin-using-3d-printing-for-treating-unborn-babies-with-abnormalities.html.
20 „J Surg Res", 15.06.2014, nr 189(2), s. 193–197, doi: 10.1016/j.jss.2014.02.020, http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24721602.
21 http://3dprint.com/tag/3d-printed-medical-implants/.
22 CT-Bone®: Real Bone from the 3D Printer, http://www.xilloc.com/ct-bone/.
23 R. Huang, X. Gao, J. Wang, H. Chen, C. Tong, Y. Tan, Z. Tan, *Triple-Layer Vascular Grafts Fabricated by Combined E-Jet 3D Printing and Electrospinning*, „Ann Biomed Eng.", 29.05.2018, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29845412".
24 J.I. Efanov, A.A. Roy, K.N. Huang, D.E. Borsuk, *Virtual Surgical Planning: The Pearls and Pitfalls*, „Plast Reconstr Surg Glob Open", styczeń 2018, nr 6(1), e1443, doi: 10.1097/GOX.0000000000001443.
25 https://openbionics.com/.
26 https://andiamo.io/.
27 http://theroboarm.com/; na YouTubie można obejrzeć jego prezentację na konferencji TEDxMilesHigh, https://www.youtube.com/watch?v=CfmNXPMjChs.
28 T. Torres, 13.02.2015, *Do-It-Yourself Robotic Arm: Easton LaChapelle Teaches You To Build Your Own Prostehtic*, https://www.techtimes.com/articles/32785/20150213/diy-robotic-arm-easton--lachappelle-prosthetic.htm.
29 S. Patrick, *DIY Prosthetic-Hand-Forearm (Voice Controlled)*, https://www.instructables.com/id/Voice-Controlled-Prosthetic--Hand-Forearm/; A. Wheeler, 13.02.2015, low-cost-flexy-hand--3dprinted-prosthetic, https://3dprintingindustry.com/news/low-cost-flexy-hand-3d-printed-prosthetic-41152/.
30 dev1user, 21.03.2014, http://helpinghandsprogram.com.au/category/helping-hands/. Por. L. Clark, 8.01.2014, http://www.wired.co.uk/news/archive/2014-01/08/impossible-not-printing-artificial-limbs, Enabling The Future..
31 S.A. Goehrke, 11.01.2017, https://3dprint.com/161328/handsmith--bionic-hands/.
32 A. Robinson, 21.08.2015, https://www.theguardian.com/sustainable-business/2015/aug/21/welcome-to-complex-world-of-3d-printed-drugs-spritam-fda; E. Borukhovich, 29.03.2016, https://thenextweb.com/insider/2016/03/29/3d-printing-changes-pharmaceutical-world-forever/#.tnw_bzGIc7fn.
33 http://www.wakehealth.edu/WFIRM/.
34 *L'Oreal to start 3D-printing skin*, 19.05.2015, http://www.bbc.com/news/technology-32795169.
35 E. Millard, 24.01.2017, http://www.menshealth.com/health/3d-printer-human-skin.
36 http://www.organovo.com/tissues-services/exvive3d-human--tissue-models-services-research/exvive3d-liver-tissue--performance/.
37 S. Saunders, 12.12.2016, https://3dprint.com/158499/revotek-3d-printed-blood-vessels/.
38 C. Scott, 4.11.2015, https://3dprint.com/103721/3dbioprintingsolutions-thyroid.
39 E. Pitt, 4.12.2013, http://media.uow.edu.au/news/UOW162803.html.
40 J. Falludi, 19.02.2013, http://www.greenbiz.com/blog/2013/07/19/3d-printing-environmental-win.
41 http://www.approto.com/Media-Center/Additive-vs-Subtractive-Manufacturing-Which-is-Ri.aspx.
42 mikellec, 4.11.2014, http://www.instructables.com/id/eWaste-60-3DPrinter/; S. Saunders, 13.01.2017, https://3dprint.com/161693/australian-e-waste-3d-printers/.
43 A.K. Streeter, 26.03.2015, http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/3-Dprinting-plus-way-instantly-recycle-plastic-waste-3-d-ink.html; M. Molitch-Hou, 19.03.2014,

http://3dprintingindustry.com/2014/03/19/mobile-eco-3d-printing-station/; D. Sher, 7.07.2015, http://3dprintingindustry.com/2015/07/07/project-seafood-says-thanks-hdpe-3d-printing-seashore-plastic-waste/.
44 N. Davison, 26.02.2015, https://www.theguardian.com/cities/2015/feb/26/3d-printed-cities-future-housing-architecture; J. Luimstra, 19.04.2014, http://3dprinting.com/news/winsun-uses-waste-3d-print-houses-4800-dollars/.
45 B. Krassenstein, 16.04.2015, https://3dprint.com/57764/winsun-3d-print-fake/.
46 http://www.thingiverse.com/thing:53321.
47 M. Froese, 2.03.2015, https://www.windpowerengineering.com/business-news-projects/3d-printed-wind-turbines-help-remote-communities-gain-sustainable-power/, https://www.thingiverse.com/tag:wind_turbine.
48 T. Koslow, 26.10.2015, http://3dprintingindustry.com/2015/10-/26/3d-printing-used-to-revive-the-coral-reefs-ocean-eco-system-of-monaco/.
49 S. Saunders, 25.01.2017, https://3dprint.com/162756/students-3d-printed-bat-house/.
50 https://www.thingiverse.com/.
51 https://grabcad.com/.
52 *3D Printers – Are They Environmentally Friendly*?, 5.09.2012, http://3dprinting.com/news/3d-printers-are-they-environmentally-friendly/.
53 http://kazzata.com/Home/RFP.aspx.
54 T. Koslow, 7.01.2016, http://3dprintingindustry.com/2016/01/07/64390/.
55 M. Molitch-Hou, 22.12.2015, http://3dprintingindustry.com/2015/12/22/63850/.
56 https://www.3dizingof.com/.
57 D. Widrig, https://www.dezeen.com/tag/daniel-widrig/.
58 C. Scott, 19.02.2108, https://3dprint.com/165273/3doodler-turns-four-years-old/.
59 C. Scott, 31.10.2018, https://3dprint.com/tag/3d-printed-musical-instruments/.
60 B.B. O'Neal, 12.08.2016, https://3dprint.com/145753/ntvg-3d-printed-music-video/.
61 C. Scott, 30.06.2016, https://3dprint.com/140552/bjork-digital-tour-3d-printing/.
62 S. Saunders, 7.02.2017, https://3dprint.com/164143/3d-printed-tumor-model-pop-song/.

Fragment pochodzi z książki:
Druk 3D/AM. Zastosowanie oraz skutki społeczne i gospodarcze,
H. Dodziuk, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2019

WYDARZENIA

● **B&R ze smutkiem żegna założyciela firmy. Erwin Bernecker zmarł przedwcześnie w wieku 67 lat**

Założyciel firmy B&R, Erwin Bernecker, zmarł nagle i nieoczekiwanie 30 marca 2019 roku. Firma B&R została założona w Eggelsbergu w 1979 roku przez Erwina Berneckera i Josefa Rainera. Erwin Bernecker był aktywnym członkiem zarządu aż do momentu sprzedaży firmy Grupie ABB. Pochodził z austriackiego regionu Innviertel. Do końca pracował jako konsultant przy integracji w procesach biznesowych B&R z Grupą ABB. Przez te lata Erwin Bernecker wykazywał wielkie umiejętności w zakresie przedsiębiorczości, ogromną odwagę i niesamowite poświęcenie.

Koledzy już od szkolnych lat, Erwin Bernecker i Josef Rainer, budowali międzynarodową firmę opartą na ich wspólnym pomyśle. W rezultacie B&R może teraz spojrzeć wstecz na 40 udanych lat. Profesjonalne i ludzkie podejście Erwina Berneckera zawsze było wysoko cenione przez klientów, partnerów biznesowych i pracowników.

– Erwin Bernecker był do końca nieodłącznym filarem firmy. Szanujemy jego pracę – mówi Hans Wimmer, dyrektor zarządzający B&R.

Duch Erwina Berneckera na zawsze będzie siłą przewodnią dla firmy, a jego pamięć zawsze będzie pielęgnowana.

Źródło: B&R Automatyka Przemysłowa Sp. z o.o.

● **Akupunktura w służbie oceanom**

Chińscy naukowcy opracowali innowacyjny czujnik, łącząc ze sobą igły do akupunktury wykonane ze stali nierdzewnej oraz nanomateriały. Sensor pozwala wykrywać aktywne metale ciężkie z wysoką czułością.

Naukowcy z Instytutu Badań nad Strefą Przybrzeżną Yantai, działającego w ramach Chińskiej Akademii Nauk, wykorzystali do tego celu procesy izolacji, uszczelniania i funkcjonalizacji za pomocą nanomateriałów. Czujnik został przetestowany przy wykrywaniu miedzi ciężkiej w wodzie morskiej. Okazało się, że wykazuje doskonałą wydajność i bardzo wysoką czułość w detekcji różnych form miedzi poprzez wykorzystanie anodowej woltamperometrii stripingowej (ASV).

Metale ciężkie w wodzie morskiej są szkodliwymi zanieczyszczeniami zarówno dla zdrowia ludzkiego, jak i ekosystemu. Zdaniem ekspertów anodowa woltamperometria stripingowa jest najprostszą i najskuteczniejszą techniką analizy ich obecności. Niestety czułość urządzeń wykorzystywanych w ramach tej metody pozostawiała do dziś wiele do życzenia. Potrzebne są nowe sensory o polepszonych parametrach, a odpowiedzią na tę potrzebę wydaje się innowacyjny czujnik z Chin.

Opis badań prowadzących do jego powstania został opublikowany w czasopiśmie „Analytical Methods".

Źródło: xinhuanet

Design dla wytwarzania przyrostowego

Helena Dodziuk

Wiceprezes jednej z najbardziej aktywnych w 3DP firm Siemensa, Andreas Saar, wygłosił wykład na konferencji materialise[1] zatytułowany (w moim, może nie najbardziej dokładnym, tłumaczeniu): *Druk 3D zmienia wszystko. Należy na nowo wymyślić produkty, zmienić narzędzia wytwarzania i przemyśleć sposób prowadzenia biznesu*. Do niedawna w 3DP/AM zmieniały się metody drukowania, drukarki i używane materiały, natomiast elementem niezmiennym było używane oprogramowanie. Teraz to zaczyna się zmieniać, bo – jak stwierdziła Pamela J. Waterman – 3DP narzuca dużo mniej ograniczeń technologicznych niż metody tradycyjne[2].

W 2018 roku współpracownik Wohlers Associates, Olaf Diegel, stwierdził, że przez ostatnie trzy lata firmy zaczęły doceniać design dla wytwarzania przyrostowego (DfAM, ang. *Design for Additive Manufacturing*)[3]. Zwiększył się zarówno udział instytucji finansowych w inwestowaniu w DfAM, jak również liczba kursów na ten temat dla firm, które chcą pogłębić wiedzę na ten temat.

Części drukowane w 3D zaprojektowane w sposób konwencjonalny są czasami droższe niż takie same części wyprodukowane w sposób tradycyjny, głównie ze względu na małą szybkość drukowania. Jednak jeżeli takie części się zaprojektuje, wykorzystując DfAM, ich koszt może być porównywalny lub nawet konkurencyjny. Badania przeprowadzone dla firmy Wohlers Associates w 2018 roku wskazują, że 46% kosztów w 3DP/AM wiąże się z wytwarzaniem i usuwaniem podpór (ang. *support structures*). Dobrze zaprojektowana część może wymagać dużo mniejszej ilości materiałów na podpory (a więc wymagać mniej pracy przy ich usuwaniu), zmniejszając zdecydowanie koszty wytwarzania.

Oczywiście metody DfAM wykorzystujące optymalizację topologiczną, projektowanie generatywne[4] i struktury sieciowe mogą zwiększyć wartość produktów (ang. *add value to products*), np. przez zmniejszenie ich wagi i zwiększenie wydajności (ang. *enhancing performance*). Podobnie zmniejszenie liczby części przez zaprojektowanie ich jako jedną całość zmniejsza koszty produkcji, przechowywania i montażu. Oczywiście dodatkową zaletą jest personalizacja (ang. *customization*), czyli dopasowanie produktu do konkretnego klienta praktycznie bez zwiększenia kosztów. Wszystkie te zalety można uzyskać, jeśli designerzy i inżynierowie nauczą się DfAM. Brak tej wiedzy jest jedną z barier przy wprowadzaniu AM na wielką skalę.

Badanie firmy Fictive wykazało[5], że większość inżynierów i projektantów (lub z angielska: designerów) stosuje tradycyjne oprogramowanie 3D CAD firmy Autodesk[6]. Nowatorskie pakiety oprogramowania, takie jak Autodesk Within[7], netfabb[8], firmy Autodesk – opracowane przez firmę Altair Hyperworks[9] i Inspire firmy solidThinking[10] – oraz 3-matic firmy materialise[11], a także wiele innych są świadectwem zmian w podejściu do programowania dla 3DP/AM. Obejmują one przemyślenie od nowa projektów detali, aby zmniejszyć ich wagę, zachowując wytrzymałość oraz zoptymalizować design do produkcji metodą AM oraz minimalizację zużycia materiałów wspornikowych. Trzeba też wymienić zintegrowane platformy oprogramowania dla 3DP/AM NX Siemensa[12] oraz 3DExperience Dassault Systèmes[13].

Należy podkreślić, że oprogramowanie DfAM rozwija się bardzo dynamicznie. Dąży się do tego, żeby przejście od tradycyjnego projektowania do projektowania dla druku 3D było automatyczne. Między innymi w programach pojawiają się zakładki umożliwiające automatyczne odchudzenie, np. wbudowanie do projektowanej części pustych wnęk, bez obniżania jej parametrów mechanicznych, lub automatyczne projektowanie coraz doskonalszych podpór. Dotychczas, żeby projektować modele do druku 3D, trzeba było mieć w tym doświadczenie. Niedługo nie będzie to już konieczne.

T. Wohlers, chyba najważniejszy analityk w dziedzinie 3DP, opracował razem z Olafem Diegelem trzydniowy kurs projektowania DfAM[14], w którym omówiono specjalne podejście do projektowania dla druku 3D, m.in. nie tylko polegające na analizie funkcjonalności części do wydrukowania i ich klasycznego montażu, lecz również uwzględniające specyfikę ich druku w 3D na skalę przemysłową, tak aby uzyskać wielostronną efektywność. Sformułowali oni kilka zasad projektowania, pozwalających na uzyskanie większej wartości w produkcji korzystającej z 3DP:

1. Projektuj lub modyfikuj istniejący projekt z minimalnym wykorzystaniem materiału, pozwalającym na spełnienie wymagań technologicznych. Polega to m.in. na mniejszym zużyciu materiału w miejscach, w których nie działają siły i naprężenia, oraz na wykorzystaniu takich narzędzi, jak optymalizacja topologiczna[15], struktury sieciowe[16] oraz generatywny design, czyli podejście do projektowania i designu fizycznego lub cyfrowego obiektu, w którym wykonuje się iteracyjnie proces projektowania przez generowanie wielu możliwości (ang. *output*) spełniających pewne narzucone warunki. Takie działanie może być delegowane technologiom i platformom komputerowym, które wykorzystują sztuczną inteligencję[17] w celu uzyskania lżejszych i bardziej funkcjonalnych produktów dzięki specyficznym możliwościom druku 3D, np. wytwarzania detali z wnękami w środku. Firmy nTopology, Frustum i ParaMatters to startupy próbujące przedefiniować optymalne i efektywne projektowanie dla dowolnej metody produkcji[18].
2. Projektuj tak, aby konsolidować wiele części, wykorzystując możliwość drukowania w 3D bardzo skomplikowanych, specyficznych dla produktu kształtów, które można wydrukować „za jednym zamachem". Wyeliminowanie montażu

i możliwość dodrukowania zapasowych części pozwala jednocześnie uniknąć konieczności składowania wielu części (a także śrub, nakrętek i podkładek), oszczędzając czas i pieniądze oraz likwidując potencjalne straty związane z montażem i składowaniem.

3. Projektuj lub modyfikuj istniejący projekt z minimalnym wykorzystaniem materiału pozwalającym na spełnienie wymagań technologicznych produkcji. W AM duże ilości materiału nie są korzystne z punktu widzenia inżynierii i mogą wprowadzić znaczne naprężenie rezydualne. Ponadto wymagają one więcej podpór i zwiększają czas druku i jego koszt. Jest to w zasadzie powtórzenie reguły z punktu 1, ale tak to sformułowali Terry Wohlers i Olaf Diegel.
4. Projektuj dla lepszego funkcjonowania. Przykładowo kanały chłodzące są na ogół wykonywane jako prostoliniowe, gdy części wytwarza się tradycyjnie metodą formowania wtryskowego z tworzyw sztucznych. W AM można dopasować ich przebieg do kształtu części, zapewniając szybsze i bardziej równomierne chłodzenie. Z możliwości tej skorzystali m.in. projektanci Siemensa przy projektowaniu wydrukowanych następnie w 3D łopatek turbiny[19].
5. Projektuj z wykorzystaniem zoptymalizowanego rodzaju materiału. Wykorzystaj do wydrukowania części właściwości materiałów, z którymi trudno jest pracować tradycyjnie, aby wykorzystać lepsze właściwości materiałów, takie jak przewodnictwo cieplne, ciągliwość lub wytrzymałość. Zamiast zastanawiać się, z jakich materiałów robiono tę część, rozważ, jaką funkcję ma wykonywać, i dobierz najbardziej odpowiedni materiał do wytworzenia jej metodą AM, czyli wykorzystaj zasadę najlepszego wykorzystania surowców
6. Projektuj z wykorzystaniem optymalnego kierunku przyrostu i minimalnych podpór. Usunięcie ich to na ogół żmudne i czasochłonne zadanie wymagające pracy ręcznej. Taki postprocessing może odpowiadać za 70% całkowitego kosztu. Może on być zminimalizowany przez inteligentną orientację części zmniejszającą potrzebę użycia podpór, zaś przemyślany design części lub ich wspólny druk może je nawet zlikwidować, czyli spełnić zasadę umiaru technologicznego.
7. Projektuj dla wydajnego i identyfikowalnego przepływu pracy (ang. *workflow*)[20]. Taki projekt musi uwzględniać wszystkie etapy produkcji części metodą AM od preprocessingu (umieszczenie części w przestrzeni roboczej drukarki, wybór parametrów druku itd.), przez monitoring drukowania, aż do postprocessingu (czyli usunięcia podpór, obróbki cieplnej, czyszczenia, utwardzania UV, obróbki powierzchni itp.). Ten ostatni obejmuje również zapis parametrów drukowania do ich późniejszego sprawdzenia lub kontroli w czasie rzeczywistym dla ciągłej poprawy procesu i podtrzymania standardów jakości. Stosuj przy tym zasadę najlepszego wykorzystania energii.

Z kolei Fabian na blogu materialise omówił pięć błędów często występujących w designie 3DP/AM, mając na uwadze różnice w bardzo różnym oprogramowaniu, stosowanych materiałach, drukarkach i technologiach druku[21]. Należą do nich ignorowanie charakterystyk materiałów do drukowania i stosowanej technologii druku oraz wytycznych oprogramowania, a także niepoświęcanie należnej uwagi grubości ścianek i rozdzielczości plików STL do drukowania. Również na blogu sculpteo omówiono wykorzystanie biomimetyki, czyli naśladowania przyrody (ang. *biomimicry*), co nie tylko pozwala opracowywać nowe materiały prowadzące do nowych możliwości produkcji, ale umożliwia również optymalizację designu i inspiruje inżynierów nowymi pomysłami do wykorzystania w AM[22].

Oceniając zalety celowego projektowania DfAM, Marc Saunders ze specjalizującej się w druku w metalu firmy Renishaw wyróżnił zalety w produkcji (ang. *production benefits*, PB) i zalety w użytkowaniu (ang. *lifetime benefits*, LB)[23]. Stosowanie „dziurawych" struktur lub struktur porowatych pozwala na zmniejszenie zużycia materiałów (PB) i skrócenie czasu produkcji, jednocześnie zmniejszając wagę wydrukowanych części nawet o 50% (LB). Optymalizacja topologiczna z kolei zmniejsza zużycie i straty materiału oraz koszty narzędzi (PB), jednocześnie zmniejszając wagę i pozwalając na szybsze wprowadzenie do produkcji (LF) i jej przyspieszenie. Zwiększenie pola powierzchni w strukturach porowatych jest szczególnie ważne w implantach ortopedycznych. Uzyskuje się je m.in. dzięki projektowaniu sieciowemu. Również w tym przypadku uzyskuje się zmniejszenie strat materiałów (PB), jednocześnie lepiej one działają i wykazują lepszą adaptację (LB). Dzięki DfAM produkty stają się bardziej estetyczne, ich montaż jest prostszy (PB). Co więcej, lepiej adaptują się do zadań i są bardziej atrakcyjne (LB).

Inne podejście do AM reprezentuje prezes rosyjskiej firmy Anisoprint[24], Fiodor Antonow, który uważa, że zamiast metalu należy drukować w 3D z materiałów kompozytowych. Niestety strona z jego artykułem zniknęła z sieci, zostało jedynie jej omówienie[25].

Designer Kruno Knezic uważa, że kreatywność jest kluczem do DfAM[26], a korzystanie ze standardowych programów do projektowania, takich jak 3D CAD, ogranicza projektantów, którzy muszą się nauczyć metod projektowania specyficznych dla AM. Tego typu programem jest np. Dreamcatcher firmy Autodesk[27]. Jest to generatywny system projektowania, pozwalający twórcom zdefiniować ich problem przez jego cele i ograniczenia, a następnie utworzyć alternatywne rozwiązania projektowe spełniające te warunki. Umożliwia to z kolei projektantom porównanie wielu rozwiązań i wybór metody projektowania adekwatnej do produkcji.

Po etapie intensywnego rozwoju metod drukowania i używanych metamateriałów mamy do czynienia z gwałtownym rozwojem metod projektowania DfAM. Wydaje się, że ciekawym i przyszłościowym podejściem jest automatyzacja procesu projektowania (ang. *design automation software*)[28] i wykorzystująca DfAM platforma oprogramowania do druku 3D w metalu SolidWorks, spółki córki Dassault Systèmes, 3DXpert for SolidWorks[29]. Na zakończenie warto przypomnieć, że ocena jakości projektu do wydrukowania w 3D jest bardzo skomplikowanym problemem m.in. ze względu na częsty do niedawna brak powtarzalności wydruków. Omówił go Ramesh Lakshmipathy na swoim blogu[30]. Pokazał on, jak prosta zmiana jednego parametru konstrukcji z rurek wpływa na jej stabilność.

Ponadto Lakshmipathy zaproponował kilka pytań (np. o rodzaj stosowanego materiału, grubość ścianek i średnicę rurek, cenę itd.), aby pokazać, jak odpowiedź na nie wpływa na kryterium wyboru parametrów w zależności od tego, czy chodzi nam o wyrób najtańszy, czy też taki, który charakteryzuje się największą odpornością na korozję lub jest rozwiązaniem kompromisowym. Oczywiście omówiony w blogu Lakshmipathy'ego przykład jest bardzo uproszczony i w realnej sytuacji należy rozważyć dużo więcej czynników.

Przypisy

1 World Summit 2017, https://worldsummit.materialise.com/.
2 P.J. Waterman, 24.10.2017, http://www.rapidreadytech.com/2017/10/how-to-design-for-additive-manufacturing-first-steps/.
3 O. Diegel, 16.06.2018, https://wohlersassociates.com/blog/2018/06/the-impact-of-dfam/.
4 https://cadcamstuff.com/5208/understand-generative-design-1-minute-read/.
5 K. Knezic, 18.07.2017, https://medium.com/@krunok/creativity-is-the-key-to-design-for-additive-manufacturing-ecfdcb495c26.
6 https://www.autodesk.com/solutions/3d-cad-software.
7 http://blogs.autodesk.com/inthefold/autodesk-within-generative-design-optimized-for-3d-printing.
8 https://www.autodesk.com/products/netfabb/overview.
9 http://www.altairhyperworks.com/hw2017/.
10 http://www.solidthinking.com/Inspire2017.html.
11 http://www.materialise.com/en/software/3-matic.
12 https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/nx/.
13 https://www.3ds.com/products-services/3dexperience/.
14 http://4teamm.org/news/2017/04/27/design-for-additive-manufacturing-dfam-from-wohlers-associates-with-olaf-diegel-and-terry-wohlers/.
15 https://en.wikipedia.org/wiki/Topology_optimization.
16 E. Recrosio, 24.05.2017, https://www.sculpteo.com/blog/2017/05/24/optimize-your-3d-printed-parts-with-lattice-structures.
17 https://en.wikipedia.org/wiki/Generative_design.
18 D. Horvath, 14.06.2018, https://3dprintingindustry.com/news/defining-generative-design-software-implementation-ntopology-frustum-paramatters-134663/.
19 https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/industry-and-automation/additive-manufacturing-3d-printed-gas-turbine-blades.html.
20 https://pl.wikipedia.org/wiki/Workflow.
21 Fabian, 5.07.2018, https://i.materialise.com/blog/en/5-mistakes-to-avoid-when-designing-a-3d-model-for-3d-printing/.
22 K. Plewa, 11.07.2018, https://www.sculpteo.com/blog/2018/07/11/nature-inspired-3d-printing-introducing-biomimicry/.
23 M. Saunders, 11.03.2016, http://www.renishaw.com/en/additive-impact-part-1-how-additive-manufacturing-could-disrupt-your-market-37549; M. Saunders 25.03.2016, http://www.renishaw.com/en/blog-post-additive-impact-part-2-how-am-could-disrupt-your-market-37551.
24 http://anisoprint.com/.
25 S. Collinson, 4.09.2017, https://sk.ru/news/b/press/archive/2017/09/04/will-additive-manufacturing-powder-processes-become-obsolete_3f00_.aspx.
26 K. Knezic, 22.06.2017, https://www.linkedin.com/pulse/creativity-key-design-additive-manufacturing-kruno-knezic.
27 https://autodeskresearch.com/projects/dreamcatcher.
28 J. Mignardi, 13.06.2017, http://www.javelin-tech.com/blog/2017/06/design-automationsoftware-manufacturers/.
29 S. Saunders, 7.02.2018, https://3dprint.com/202926/3dxpert-for-solidworks/.
30 R. Lakshmipathy, 16.08.2017, http://blogs.solidworks.com/solidworksblog/2017/08/can-identify-best-design.html.

Fragment pochodzi z książki:
Druk 3D/AM. Zastosowanie oraz skutki społeczne i gospodarcze,
H. Dodziuk, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2019

reklama

Zastosowania przemysłowe druku 3D zwanego wytwarzaniem przyrostowym. Wstęp

Helena Dodziuk

Zalety stosowania 3DP/AM, czasami nazywanych wytwarzaniem wspomaganym komputerowo (ang. *Computer Aided Manufacturing*, CAM), zostały omówione w rozdz. 2. Przed omawianiem przemysłowych zastosowań druku 3D warto jednak jeszcze raz podkreślić, że wytwarzanie tą metodą zmienia sposób myślenia o produkcji, co omówili Christian Weller ze współpracownikami[1]. Bariery związane z wprowadzeniem 3DP do przemysłu omówiono m.in. na portalu Fabballoo[2]. Zwrócono tam uwagę, że wprowadzenie 3DP/AM do produkcji przemysłowej musi być całościowym procesem, który uwzględni integrację z już istniejącą siecią zaopatrzenia i wprowadzi nowe sposoby prowadzenia biznesu.

Przemysłowych zastosowań 3DP w różnych dziedzinach jest wiele. Dziś to już nie tylko tanie i szybkie wytwarzanie prototypów i narzędzi, co wciąż jest ważnym zastosowaniem w wielu dziedzinach. W przemyśle lotniczym to coraz częściej produkcja z wykorzystaniem druku 3D w metalu[3]. Wiodący koncern w dziedzinie 3DP/AM, Stratasys, wprowadził drukarki 3D do zastosowań przemysłowych obejmujących nie tylko prototypowanie, ale i produkcję[4]. Technologię tę wprowadza się już intensywnie do produkcji masowej.

W 2018 roku, na konferencji Additive Manufacturing and 3D Printing w Nottingham, podczas wykładu na temat wyzwań i pułapek związanych z wprowadzeniem druku 3D do przemysłu Ian Halliday z firmy 3T RPD Ltd. stwierdził, że wprowadzenie AM do produkcji na dużą skalę zajęło wiodącym firmom przemysłu lotniczego GE Aviation i Airbus ponad dziesięć lat[5]. Z kolei Gerd Manz z firmy Adidas stwierdził na TCT Show w 2017 roku, że wprowadzenie do masowej produkcji druku 3D (we współpracy z firmą Carbon) zajęło im dziesięć lat, zanim zaczęło przynosić zyski[6]. Należy podkreślić, że w 2018 roku Adidas miał wydrukować w 3D elementy 100 tys. par butów sportowych. Pierwszy rzut tych butów w styczniu 2018 roku w wybranych sklepach w Nowym Jorku został natychmiast rozprzedany i niektóre z nich wypłynęły po wielokrotnie wyższej cenie[7] na aukcji sneakersów na stronie stockx.com.

W 2017 roku Hewlett-Packard zawarł porozumienie z firmą Deloitte dotyczące współpracy nad zastosowaniem opracowanego przez HP systemu druku 3D do drukowania na skalę przemysłową[8]. Ma to pomóc firmom, które korzystają z tego systemu, takim jak Arkema, BASF, Johnson & Johnson czy Henkel, przyspieszyć design i wytwarzanie produktów, stworzyć bardziej elastyczne sieci wytwarzania i dostaw, zwiększyć efektywność w czasie cyklu produkcyjnego, tym samym zwiększając innowacyjność, skracając czas wprowadzenia produktu na rynek, zmniejszając koszty i straty oraz skuteczniej konkurując w dzisiejszej dynamicznej globalnej gospodarce.

Ważną rolę w rozwoju 3DP/AM ma odegrać powiązanie nauki o cząsteczkach (ang. *molecular science*) z oprzyrządowaniem i oprogramowaniem. W raporcie firmy sculpteo na temat stanu druku 3D w 2017 roku zostały wymienione cztery zalety tej metody wytwarzania z punktu widzenia firm[9]:

1. Przyspieszenie etapu badania i rozwoju projektu dzięki szybszemu i tańszemu opracowywaniu prototypów, co dotychczas stanowi główne zastosowanie 3DP (34%) wraz ze sprawdzeniem koncepcji (23%) (i wytwarzaniem narzędzi)[10]. Niektóre firmy bardzo szybko zmieniają swój asortyment (na wykładzie na TCT Show Birmingham 2017 Gerd Manz z Adidasa stwierdził, że 80% ich dochodu w 2016 roku pochodziło z produktów nie starszych niż jeden rok)[11]. Tak szybka zmiana modeli nie byłaby możliwa bez wykorzystania 3DP w fazie projektowania i prototypowania. Od początku zastosowań prototypowanie stanowiło bardzo ważne zastosowanie 3DP. Na blogu „sześć prototypów, które każdy startup powinien wykonać" J.D. Albert w interesujący sposób przedstawił ogólne cele prototypowania[12]. Następnie 3DP zastosowano w szybkim oprzyrządowaniu, ponieważ możliwość szybkiego wykonania chwytaka, przekładni lub manipulatora jest bardzo istotna.
2. Stworzenie nowych możliwości dla działu projektowania. Korzystając z 3DP, można tworzyć skomplikowane kształty m.in. z „dziurami" w środku (co pozwala na oszczędność materiałów, energii oraz zmniejszone wydzielanie spalin w przemysłach lotniczym, motoryzacyjnym i kosmicznym) lub części zawierających ruchome fragmenty, których w ogóle nie można byłoby lub byłoby za drogo wytwarzać w inny sposób.
3. Obniżka kosztów, szczególnie przy druku w metalu (mimo jego energochłonności). Szczególnie interesujące w tym aspekcie wydaje się wprowadzenie drukarek biurkowych pozwalających na drukowanie z metalu[13].
4. Zmiana procesu produkcji (ang. *reinventing production*). Dotychczas 3DP było stosowane do prototypowania i – ostatnio coraz szerzej – do produkcji narzędzi. (Koncern samochodowy General Motors zaoszczędził 3 mln dolarów, kiedy wprowadził wydrukowane w 3D narzędzia[14]). Obecnie to się gwałtownie zmienia i metoda ta jest coraz częściej uważana za alternatywę lub uzupełnienie tradycyjnych metod wytwarzania; mówi się już o szybkim wytwarzaniu (ang. *rapid manufacturing*)[15].

Do zalet 3DP/AM należy dodać oszczędności związane z wyeliminowaniem narzędzi używanych przy produkcji tradycyjnej. Również drukowanie jako jednej części elementu,

który wcześniej był montowany z kilku oddzielnie wytwarzanych fragmentów, nie tylko oszczędza koszty montażu, lecz również pozwala uniknąć użycia śrub i innych ciężkich elementów łączących. Nie zauważył tego Matthias Holweg z Said Business School Uniwersytetu w Oxfordzie, gdy omawiał ograniczenia 3DP w artykule opublikowanym w „Harvard Business Review"[16].

Jak powiedział James Moultrie z Uniwersytetu Cambridge na TCT Show 2017 w Birmingham[17], zastąpienie metalowej części wytwarzanej metodą tradycyjną częścią plastikową drukowaną w 3D może nawet 50-krotnie zmniejszyć koszty. Jest również interesujące, że wydrukowane z użyciem proszków metalicznych części mogą być bardziej wytrzymałe niż części ze stali nierdzewnej[18].

Warto podkreślić, że ostatnio (2018) uważa się, że w niektórych przypadkach bardziej efektywne w produkcji są maszyny hybrydowe łączące zalety AM i tradycyjnych maszyn wykorzystujących komputerowe sterowanie urządzeń numerycznych (ang. *Computerized Numerical Control, CNC*)[19]. Ponadto obniżka kosztów produkcji może stanowić niewielką część zysków związaną z wprowadzeniem AM.

Metoda ta pozwala na tworzenie zupełnie nowych produktów oraz innowacyjnych modeli biznesowych, bez których cały proces mógłby stać się niekonkurencyjny. Między innymi na tym polega i polegać będzie niszczący charakter 3DP.

W dokumencie Additive Manufacturing UK. National Strategy 2018–2025[20] podano wartości GVA (ang. *Gross Value Added*) oraz liczbę miejsc pracy w dziedzinie 3DP/AM w Wielkiej Brytanii w 2005, w 2015 i szacowane na 2025 rok. Wynosiły one odpowiednio 35, 235 i 3500 mln funtów oraz <1000, <5000 i 6000 miejsc pracy. W raporcie tym zbadano czynniki ograniczające rozwój 3DP i powołano grupy robocze do analizy i przeciwdziałania tym czynnikom.

Pierwsza z nich ma się zajmować kosztami, inwestycjami i finansowaniem, zwiększając wiedzę na temat 3DP i redukując ryzyko związane z inwestowaniem w tej dziedzinie, zwłaszcza dla małych i średnich przedsiębiorstw, a także zrozumienie pełnych kosztów (łącznie z postprocessingiem i testowaniem oraz kosztami materiałów). Druga grupa, która ma się zajmować designem dla AM, ma wypracować zalecenia i programy edukacyjne dla DfAM, pozwalające na lepsze zrozumienie designu, a zwłaszcza jego znanych ograniczeń, m.in. braku odpowiednio wykształconych projektantów, a także problemów bezpieczeństwa związanych zarówno z designem danych, jak i całych procesów. Trzecia grupa ma na celu zajmowanie się własnością intelektualną (*intellectual property*, IP), ponieważ znane obecnie zabezpieczenia IP oraz systemy prawne nie są odpowiednie dla sieci cyfrowych oraz sposobów pracy w AM. Globalne wycieki IP oraz obawy dotyczące bezpieczeństwa cyfrowego spowalniają szybkie przyjęcie tej technologii.

Następna, czwarta grupa zajmująca się materiałami i procesami ma doprowadzić do zrozumienia właściwości w różnych procesach/maszynach i zastosowaniach uwzględniające wielkość, przepustowość, kontrolę jakości, koszty, dostępność (ograniczenia IP, niezależni dostawcy), wykorzystanie materiałów mieszanych, możliwość recyklingu, biokompatybilność. Piąta grupa ma się zajmować umiejętnościami i wykształceniem w dziedzinie 3DP/AM. Brak odpowiednich umiejętności w dziedzinie projektowania, produkcji, materiałów czy też testowania uniemożliwia wprowadzanie tej dziedziny wytwarzania, podnoszenie kwalifikacji obecnych pracowników w porównaniu z kształceniem przyszłych generacji, edukację konsumentów oraz podnoszenie wiedzy na temat 3DP/AM w szkołach. Tematem prac szóstej grupy jest standaryzacja i certyfikowanie, co wiąże się z postrzeganym lub faktycznym brakiem norm we wszystkich i/lub specyficznych sektorach związanych z tą dziedziną, co szczególnie dotyczy zdrowia, lotnictwa i sportów motorowych, a także procesów, materiałów, oprogramowania, produktów oraz aplikacji. Ostatnia, siódma grupa ma się zajmować testami i walidacją, co wymaga bibliotek danych, standardów testów (ogólnych i specyficznych dla danego sektora) dla materiałów i procesów oraz produktów końcowych, a także testów dla większych objętości, badań nieniszczących oraz kontroli jakości.

Należy podkreślić, że przed firmami, które stosują 3DP/AM, stoi wiele problemów technologicznych. Do niedawna jednym z najważniejszych była mała szybkość drukowania oraz kosztowny i czasochłonny postprocessing, obejmujący m.in. konieczność wygładzania wydrukowanej w 3D powierzchni, na której odznaczają się wydrukowane warstwy. Czasami ważna jest również anizotropowość wydruków. Obecnie opracowano już wiele technologii pozwalających na szybki druk w 3D[21] oraz metody umożliwiające uniknięcie postprocessingu[22]. Jedną z metod obniżenia kosztów postprocessingu, polegającą na drukowaniu podpór z rozpuszczalnego w wodzie materiału, zaproponowała polska firma 3DGence[23].

Ciekawą koncepcję opisano na portalu Fabbaloo[24]. Miałaby ona polegać na stopniowym ulepszaniu produktu, który po uzyskaniu uwag pierwszych (i kolejnych) klientów miałby być udoskonalony. Będziemy mieć do czynienia z trochę różnymi produktami; czy będzie to wersja z danej chwili, czy jedna z wielu wersji tej wersji? Nie wiadomo, co to będzie znaczyć. Czy ludzie będą kupowali kolejne wersje, czy też zrezygnują, uważając, że i tak nie dogonią zmian. Nad tymi problemami powinni się zastanowić specjaliści od marketingu.

Jak już wspomniano, obecnie wprowadza się AM do produkcji na dużą skalę. Według raportu firmy Wohlers Associates za 2017 rok stale rośnie liczba firm produkujących i sprzedających przemysłowe systemy wytwarzania przyrostowego AM[25]. W 2016 roku było ich 97, podczas gdy w dwóch poprzednich latach zanotowano ich odpowiednio 62 i 47. Wprowadzenie technologii AM jest dużym wyzwaniem dla firm. Unia Europejska wprowadziła program WATIFY[26], który ma wspomóc firmy przy wprowadzaniu technologicznych innowacji, nie tylko w dziedzinie druku 3D.

Wielkim ułatwieniem w rozwoju druku 3D był fakt wczesnego opracowania przez Chucka Hulla standardu plików STL do druku 3D[27] (istnieją różne interpretacje tego skrótu; ma on pochodzić od ang. *Standard Triangle Language*, *Standard Tessellation Language* lub po prostu od *STereoLithography*), chociaż obecnie istnieje wiele formatów plików do 3DP/AM[28].

Obecnie prowadzone są intensywne prace mające na celu standaryzację w dziedzinie 3DP[29].

Na blogu Solidworks omówiono sposoby obniżki kosztów projektów przemysłowej produkcji w druku 3D, takie jak optymalizacja designu, odrzucenie tradycji na rzecz chociażby „organicznych" kształtów, takich jak plaster miodu, rozważenie następnych kroków w cyklu projektowania, unikanie drugorzędnych operacji (np. uproszczenie postprocessingu przy zastosowaniu metody druku SLS) czy też „nieprzesadzanie" z dokładnością drukowanych wyrobów[30]. Prowadzą do niej optymalizacja designu, odrzucenie tradycyjnego myślenia, np. przez wprowadzenie „dziur" w projektowanych do druku częściach, i inne możliwości, które daje 3DP. Co więcej, mówi się już o autonomicznych fabrykach wykorzystujących druk 3D[31].

W raporcie Additive Manufacturing UK wydanym we wrześniu 2016 roku[32] stwierdzono, że jednym z głównych czynników hamujących rozwój 3DP jest brak wystarczającej liczby specjalistów: designerów, materiałoznawców, programistów, operatorów maszyn i personelu wykańczającego wyroby (ang. *postprocessing*), natomiast szczególną uwagę na konferencji Materialise World Summit 2017 zwrócono na konieczność współpracy firm mających doświadczenie w różnych dziedzinach. Przykładem tego jest m.in. wspólny program firm Premium AEROTEC, Daimler i EOS[33], mający na celu rozwój metody przemysłowego druku 3DP/AM. Z kolei na dwunastej konferencji International Conference on Additive Manufacturing & 3D Printing w Nottingham w 2017 roku[34] obok braku wystarczającej liczby specjalistów wymieniano problemy z finansowaniem AM, włączaniem AM do procesów produkcyjnych (ang. *factory workflows*), zarówno w sensie cyfrowym, jak i fizycznym, oraz wspomniano, jak często to włączanie prowadzi do metod hybrydowych, łączących wytwarzanie subtraktywne i addytywne. Innym czynnikiem wymienianym jako bariera w rozwoju jest zdobycie certyfikacji ISO przez firmy[35]. Jak już wspomniano, w Wielkiej Brytanii stworzono wiele zespołów do pracy nad czynnikami ograniczającymi rozwój 3DP.

Ważnymi rozwijanymi obecnie dziedzinami są, obok wprowadzania nowych procesów i materiałów, badania i standaryzacja materiałów używanych do druku 3D, wyrobów i stosowanych procesów, jak również warunków bezpieczeństwa. To ostatnie dotyczy szczególnie przemysłów lotniczego i kosmicznego oraz zastosowań medycznych. America Makes[36] i Narodowy Amerykański Instytut Standardów (*American National Standards Institute*, ANSI)[37] opublikowały w czerwcu 2018 roku najnowszą wersję planów (ang. *road map*) standaryzacji AM[38].

Istnieją również ograniczenia psychologiczne (patrz również badanie firmy EY omówione poniżej). Przeprowadzone przez firmę Gartner w 2017 roku badanie 388 dyrektorów generalnych (ang. *chief executive officer*, CEO) i innych przedstawicieli zarządów firm wykazało, że nie doceniają oni możliwości druku 3D i innych innowacyjnych technologii[39]. Analityk Gartnera Mark Raskino twierdzi, że wielu zarządzających firmami utknęło w starych kategoriach wytwarzania przemysłowego, które są już mniej użyteczne w świecie „efemerycznych produktów i usług, w których sieci społeczne, innowacje w modelu biznesowym, myślenie projektowe, wartości marki i doświadczenia klientów są w centrum tworzenia wartości"[40]. Słyszeli oni o nowatorskich technologiach, ale nie wiedzą, na czym one polegają i jak mogą przyczynić się do rozwoju ich firmy.

Jesteśmy obecnie w początkowym etapie gwałtownego rozwoju przemysłowych zastosowań tej technologii. Na razie formowanie wtryskowe plastikowych części jest, mimo znacznego kosztu samych form, tańsze w produkcji masowej niż AM. W przyszłości to się może zmienić dzięki pracom badawczym i wdrożeniowym prowadzonym w wielkich korporacjach. Wspomniano już o wieloletnich pracach w GE Aviation, Airbusie, Adidasie i o inicjatywie Stratasys[41]. Ta ostatnia firma opracowuje wielokomórkową platformę do ciągłej produkcji 3DP (ang. *multi-cell additive manufacturing platform for continuous production*)[42]. Intensywne prace prowadzi również dział badawczo-rozwojowy Siemens Mobility w zakresie przemysłowego zastosowania 3DP, co w wielu przypadkach skraca czas produkcji z tygodni do dni[43].

Taki rozwój przyniesie znaczne zmiany nie tylko w produkcji przemysłowej. Wspomnieliśmy powyżej o zastąpieniu robotników przez drukarki, ale zmian tych będzie dużo więcej i są one obecnie trudne do przewidzenia. Kilka lat temu w szacownym piśmie „The Economist" ukazał się artykuł *Wydrukuj mi Stradivariusa*[44] ze zdjęciem wydrukowanych skrzypiec na okładce (wykonania kompozycji na takich instrumentach można posłuchać na YouTubie zarówno w wersji klasycznej[45], jak i bardziej niestandardowej[46]). W artykule tym porównano przyszły wpływ na gospodarkę i życie codzienne drukowania przestrzennego z wpływem takich wynalazków, jak druk, maszyna parowa i tranzystor. Będzie on ogromny, ale jego szczegółów nie można w pełni przewidzieć. Wiadomo, że 3DP z pewnością zakłóci wiele dziedzin, zaś firmy, przedsiębiorcy i systemy prawne muszą się do tych zmian przystosować.

Jak już wspomniano, jednymi z najbardziej aktywnych w dziedzinie zastosowań 3DP w przemyśle firm są General Electric[47] i Siemens[48]. Ta pierwsza to międzynarodowa korporacja notowana na giełdzie w Nowym Jorku, która zajęła w 2017 roku trzynaste miejsce na liście Fortune 500. GE ma już 126 lat i powstała z połączenia dwóch firm, z których jedną założył sam Thomas Edison. Obecnie, po restrukturyzacji w 2016 roku, GE składa się z kilku niezależnych gałęzi, z których GE Aviation i GE Additive[49] na pewno zajmują się drukiem 3D. W dziedzinie AM GE jest chyba najbardziej znana z opracowania drukowanej w 3D dyszy do silników odrzutowców, ale obok licznych projektów w przemysłach lotniczym[50] i kosmicznym prowadzi szeroko zakrojone prace z zakresu zastosowań 3DP w medycynie i innych dziedzinach. Ma ona lub buduje wiele fabryk/ośrodków (ang. *facilities*) w Ameryce Północnej, Europie (cztery we Włoszech, dwie w Niemczech, i po jednej w Szwajcarii, Wielkiej Brytanii, Republice Czeskiej i Szwecji), Ameryce Łacińskiej i Azji. Swoją technologiczną pozycję w AM GE umacnia m.in. przez wykupywanie mniejszych wyspecjalizowanych w 3DP firm, takich jak szwedzka Arcam AB i niemiecka SLM Solutions Group, specjalizujące się w druku 3D w metalu, czy też opracowującej oprogramowanie firmy GeonX[51]. GE ma zamiar (2017) sprzedać dwie spółki córki GE Industrial Solutions i GE Water, a następnie zamknąć

lub ograniczyć działalność wielu swoich fabryk[52]. Te wszystkie zmiany są świadectwem, że koncern zmienia strategię: w centrum jego zainteresowania będzie już nie tylko oprzyrządowanie dla przemysłu ciężkiego (projekt dużej drukarki 3D Atlas do metalu o wymiarach wzdłuż osi X, Y do jednego metra[53]), ale i oprogramowanie.

Globalny, 170-letni koncern Siemens na początku jedynie wykorzystywał metodę 3DP do szybkiego prototypowania. Następnie był on jedną z niewielu firm, która przeszła do opracowania całościowej metody produkcji, wykorzystującą technologię 3DP w dziedzinie aparatów słuchowych. Obecnie jest to chyba jedyna dziedzina wytwarzania prawie całkowicie przejęta przez druk 3D (w 98%, reszta aparatów musi być wykonywana tradycyjnie). Następnie Siemens rozszerzył swoje pole zainteresowań o zaawansowane oprogramowanie przez zakup specjalizujących się w tym firm (UGS Corporation, Unigraphics, Structural Dynamics Research Corporation i innych), tworząc dział Siemens PLM Software. Dzisiaj koncern ten jest aktywnym sprzedawcą oprogramowania i obsługuje klientów z wielu działów przemysłu.

Dalszy rozwój aktywności Siemensa w dziedzinie druku 3D obejmuje zarówno różnorodne projekty, jak i współpracę z innymi podmiotami, a także zakupy całych firm (ang. *acquisitions*). Po nabyciu brytyjskiej firmy Materials Solutions dział Siemensa Power & Gas stał się ostatnio aktywnym dostarczycielem usług w zakresie druku 3D w metalu dla przemysłów lotniczego i motoryzacyjnego. Siemens jest również zaangażowany we współpracę z wieloma firmami, m.in. HP, Trumpf, Stratasys, EOS, materialise, w celu rozwoju i sprzedaży swoich produktów. Przykładowo współpraca ze Stratasys ma łączyć 3DP z inteligentną automatyzacją, prowadząc do zaawansowanej robotyki. Jednym z najgłośniejszych przykładów rozwoju technologii wytwarzania w 3D przez Siemensa jest produkcja metalowych łopatek turbin. Tradycyjnie łopatki turbin są odlewane albo kute, dlatego wymagają skomplikowanych form w procesie produkcji. Siemens pokonał trudności drukowania tych części w technologii 3D, m.in. wprowadzając złożone innowacyjne kanały chłodzące o skomplikowanej geometrii i opracowując nowy materiał (polikrystaliczny proszek zawierający stop niklu)[54]. Podejście Siemensa skraca czas od projektu tych łopatek do produkcji z dwóch lat do dwóch miesięcy.

Z kolei ostatnie osiągnięcie firmy Star Rapid[55] to wydrukowana w 3D część, dzięki której traktor mógł odholować część ważącą ponad tonę[56]. Część ta została wydrukowana z włókna węglowego. W przemyśle maszynowym, budownictwie i wielu innych dziedzinach mogą znaleźć zastosowanie wiązki przewodów (ang. *wire harness*). Solidworks Electrical zaproponował sposób projektowania takich wiązek[57].

Julian Leitloff przedyskutował możliwy wpływ druku 3DP na przemysł jubilerski[58]. Cechą charakterystyczną tej dziedziny jest wysoka względna wartość designu w porównaniu z często znaczną ceną materiału, co prowadzi do dużo wyższych cen wytwarzania niż ceny jednostkowe przy produkcji masowej. Niektóre zalety 3DP, takie jak szybki rozwój projektu i możliwość wytwarzania na życzenie, są bardzo pożądane dla przemysłu jubilerskiego.

Inny aspekt zastosowania 3DP to całkowita zmiana sytuacji artystów projektantów. Tradycyjna produkcja biżuterii była droga i frustrowała niezależnych projektantów. Już na starcie musieli oni dysponować dużym kapitałem, aby dotrzymać kroku wielkim producentom. Również potem, aby być konkurencyjni, musieli oni walczyć o duże zamówienia, co wiązało się z wyłożeniem znacznych środków na materiały w nadziei, że odbiją to sobie pół roku później na targach. Wymagało to dobrej organizacji, jeszcze większych nerwów oraz łutu szczęścia. 3DP drastycznie zmienia ekonomię rynku projektowania biżuterii.

Niezależni projektanci nie potrzebują już dużych pieniędzy, żeby zaistnieć na rynku. Gdy mają pomysł, tworzą plik CAD i drukują go. Pojawiają się usługodawcy, którzy dostarczają pełny zakres związanych z tym przemysłem usług, takich jak produkcja i zapewnienie jakości, pakowanie, branding, sprzedaż, a nawet obsługa klienta. W tej sytuacji projektant może wybrać najbardziej mu odpowiadający model aktywności: może on kontrolować cały proces lub skoncentrować się na projektowaniu. Będzie on mógł w pełni wykorzystać zalety druku 3D, takie jak możliwość wykonywania skomplikowanych kształtów lub/i ruchomych części (mówi się nawet o „niemożliwym designie i kanałach wewnętrznych"[59]) oraz zwiększenia czasu ich życia[60].

Na stosunki produkcji w przemyśle jubilerskim wpłyną również z pewnością związane z 3DP powiązania lokalnych i międzynarodowych rynków. Dzięki przesyłaniu pliku CAD można korzystać ze wzorów na całym świecie. Designerzy z Hawajów mogą wysyłać je przez internet, aby wydrukować je lokalnie lub *vice versa*. Produkcja może odbywać się blisko obszarów rzeczywistego zapotrzebowania. Co więcej, może być ona dostosowana do wielkości zamówień, likwidując problem przechowywania i nadprodukcji, co w zasadniczy sposób zmieni globalną logistykę.

Druk 3D zmienia również sytuację wielkich firm. By obniżyć koszty produkcji metodami tradycyjnymi, muszą one zamawiać swoje produkty z wielomiesięcznym wyprzedzeniem, co czyni je nieelastycznymi i nie pozwala na dostosowanie się do zmieniających się trendów. Wytwarzanie na zamówienie metodą druku 3D może więc być przydatne i dla nich, ponieważ produkcja na zamówienie tą metodą zajmuje już nie więcej niż tydzień, wliczając w to dostarczenie produktu do klienta. W dalszej przyszłości na przemysł jubilerski, i nie tylko, mogą wpłynąć komputerowe metody rozwijania projektów, np. algorytmy samouczące się, wzrost szybkości i precyzji wykonania (taki jak w drukarkach Envision[61]) oraz uwzględnienie oceny projektów, co pozwoli stworzyć wiele różnych wersji produktu i wybrać z nich najbardziej popularne.

Obecnie znajdujemy się w bardzo interesującym momencie, kiedy 3DP/AM, dotychczas stosowany głównie do robienia prototypów i narzędzi, wchodzi do produkcji masowej[62]. Obok dwóch największych firm zajmujących się rozmaitymi aspektami druku 3D (Stratasys oraz 3D Systems) wiele specjalistycznych firm, np. GE, Ford, Mattel czy też Airbus, intensywnie wprowadzają drukarki 3D do produkcji na szeroką skalę. Warto również wymienić ostatni projekt Adidasa, który we współpracy

z firmą Carbon[63] planował masową produkcję butów Futurecraft 4D z wydrukowaną w 3D wkładką. W 2017 roku Adidas planował sprzedać 5 tys. par takich butów, a przewidywania na 2018 rok to już 100 tys[64]. Warto również wspomnieć, że do produkcji drukarek i rozwijania ich zastosowań włączają się obecnie również inne wielkie koncerny, takie jak Google, Microsoft i Canon. Proces wprowadzania AM w różnych dziedzinach przemysłu będzie silnie przyspieszał, mimo chwilowych zawirowań, takich jak załamanie trendu wzrostowego wielu firm 3DP/AM w 2015 roku[65]. Przykładem uruchamiania produkcji metodą 3DP na masową skalę jest francuski startup Prismadd Tess[66], a także koncern GE, który zainwestował w tę dziedzinę 1,4 mld dolarów[67], zaś firma Airbus w 2016 roku otworzyła swoją fabrykę w Berlinie[68]. Zwraca również uwagę „miliardowy interes" chińskiej firmy Winsun z Arabią Saudyjską na leasing stu wielkich drukarek budowlanych, którego celem jest zbudowanie co najmniej 30 mln m^2 powierzchni[69].

Jeszcze niedawno problemem w przemysłowych zastosowaniach druku 3D była jego dokładność i powtarzalność. O osiągalnych dziś dokładności i niezawodności świadczy fakt, że w styczniu 2017 roku Siemens doniósł, iż po wielomiesięcznych testach zainstalował wydrukowaną w 3D część w elektrowni jądrowej[70], gdzie wymagania bezpieczeństwa są bardzo wysokie. Z problemem dokładności i powtarzalności niezbędnej przy wytwarzaniu przemysłowym wiążą się teraz bardzo aktualne zagadnienia metrologii, czyli badania materiałów do drukowania oraz parametrów wydruków, a także ich certyfikacji. Oczywiście wymagania związane z bezpieczeństwem wyposażenia wnętrza samolotu są dużo niższe niż odpowiednie wymagania dotyczące jego silnika i obudowy, w których wytwarzaniu na razie rzadko stosuje się 3DP[71]. Wydaje się, że wyjątkiem są dysze silników samolotów odrzutowych drukowane przez GE Aviation[72]. Amerykańska Federalna Agencja Lotnicza (ang. *Federal Aviation Administration*, FAA) już w 2015 roku zaaprobowała wydrukowaną w 3D część silnika odrzutowego (obudowę sensora temperatury do pomiarów wewnątrz kompresora)[73].

Wprowadzanie 3DP/AM do produkcji przemysłowej jest stymulowane m.in. przez znaczny spadek cen drukarek do metalu. Do niedawna drukarka do metalu mogła kosztować ponad 100 tys. euro, niedawno (2017) opracowano biurkową drukarkę do metalu z dodatkowym wyposażeniem za 120 tys. dolarów[74], a ostatnio firma iro3d zaczęła dostarczać klientom biurkową drukarkę 3D do metalu za 5 tys. dolarów[75].

Gdy dyskutuje się o przemysłowych zastosowaniach druku 3D, mówi się często o rynkach pionowych[76], które nakierowane są na bardzo konkretne potrzeby pewnej grupy, w odróżnieniu od rynków poziomych, nastawionych na zaspokajanie potrzeb bardzo szerokich grup klientów o szerokim zakresie potrzeb. Klasycznym tego przykładem jest rynek dentystyczny.

Warto również wspomnieć o dyskutowanym od jakiegoś czasu modelu rozproszonej produkcji 3DP w małych lokalnych przedsiębiorstwach, co w porównaniu z wytwarzaniem w pojedynczej dużej firmie[77] pozwala na zbliżenie produkcji do klientów i szybszą dostawę produktów. Jednym z wielu współczesnych przykładów takiego modelu produkcji jest mikrofabryka firmy motoryzacyjnej Local Motors w Berlinie[78] oraz wspomniany powyżej startup Prismadd, który zaczął produkować drukowane w 3D tytanowe części samolotów dla Airbusa na skalę przemysłową[79]. Jeszcze bardziej radykalne podejście to prosumeryzm, czyli domowe wytwarzanie produktów na sprzedaż[80] lub opłacalne domowe drukowanie w 3D na własny użytek[81], trochę przypominające produkcję pierwszych komputerów w garażach domków jednorodzinnych. Inne bardzo przyszłościowe trendy to automatyzacja druku 3D[82] i/lub włączanie drukarek 3D do linii produkcyjnych[83]. To ostatnie podejście związane jest również z produkcją hybrydową, łączącą drukowanie w 3D z wytwarzaniem tradycyjnym.

Od kilkunastu lat mamy do czynienia z burzliwym rozwojem zastosowań przemysłowych 3DP/AM:

1. Jak podaje guru 3DP, T. Wohlers, skumulowany roczny wskaźnik wzrostu (CAGR) przemysłu związany z drukiem 3D, obejmujący produkty i usługi, wyniósł w 2016 roku 21,7%[84]. Taki procent wzrostu był trochę mniejszy od wartości 25,9% osiągniętej w poprzednim roku, ale ten sam wskaźnik podczas ostatnich 27 lat wyniósł średnio imponujące 26,2%. Sprzedaż drukarek biurkowych na plastik i inne materiały, ale nie metale, gwałtownie wzrosła w 2015 roku o 69,7%, do prawie 280 tys. egzemplarzy. Oczywiście sprzedaż drukarek do metalu, dużo droższych niż drukarki biurkowe, liczona na sztuki, była nieporównywalnie niższa, ale to głównie one odpowiadają za drukowaną w 3D produkcję przemysłową i przynoszą ogromne zyski.

   Wspaniałe perspektywy rozwoju 3DP w latach 2016–2022, w rozbiciu na obszary: Amerykę Północną, Europę i obszar LAMEA (Amerykę Łacińską, Bliski Wschód i Azję), przedstawiła w raportach firma Research & Markets[85]. Ta sama firma przedstawiła prognozy w rozbiciu na typy drukarek, rodzaj materiałów do drukowania i ich typów (proszki, ciecze, filamenty), procesy i technologie używane do drukowania, oprogramowanie i inne dziedziny (związane z zastosowaniami), a także czynnik geograficzny[86].
2. Wiele startupów wykorzystuje druk 3D, który dzięki szybkiemu prototypowaniu pozwala na szybkie sprawdzenie pomysłu na biznes, zwłaszcza że mogą one starać się o finansowanie na platformach zbierających fundusze (ang. *crowdsourcing* lub *crowdfunding*). Wśród takich platform najbardziej znany jest Kickstarter i jemu podobne[87], np. Indigogo. Przegląd polskich platform zbierania funduszy można znaleźć na stronie wethecrowd.pl/przewodnik-po-polskich-platformach-crowdfundingowych[88]. Na platformie Indigogo zebrano fundusze na wydrukowany w 3D laptop, który uczy użytkownika, jak majsterkować, np. zrobić sobie taki komputer[89].

   Strona Kickstartera, podsumowująca poszukiwania funduszy na różne drukarki 3D, zawiera bardzo wiele projektów. Nieliczne nie zdobyły żadnych funduszy, niektóre nie osiągnęły zamierzonego celu, ale wielu udało się zebrać potrzebne środki na uruchomienie produkcji. Jednym z rekordzistów jest firma Tiko prosząca o 100 tys. dolarów na tanią drukarkę 3D, której udało się zebrać od ponad 16 tys. darczyńców prawie 3 mln dolarów[90]. Warto również

wspomnieć o polskiej firmie Zortrax, która również na Kickstarterze zdobyła fundusze na uruchomienie swojej rewelacyjnej drukarki M200[91].

3. 3DP jest na tyle ważną dziedziną gospodarki, że niektóre kraje stworzyły specjalne programy wspomagające jej rozwój. Wymienię tu takie działania w kilku najważniejszych krajach: USA, Wielkiej Brytanii oraz Chinach, Korei i Japonii, a także system wprowadzony w Dubaju.
   a. W USA istnieje Narodowa Sieć ds. Innowacji Ameryka Wytwarza (ang. *National Network for Manufacturing Innovations America Makes*) oraz specjalny system podatkowy, pozwalający na odliczenia wydatków związanych z badaniami m.in. w dziedzinie rozwoju i zastosowań druku 3D[92]. America Makes bywa nazywana narodowym przyspieszaczem (ang. *national accelerator*) druku 3D i wytwarzania przyrostowego[93].

      Uruchomiono również specjalny system ulg podatkowych dla startupów[94] i firm zajmujących się biodrukiem, tzn. drukiem komórkami (ang. *bioprinting*)[95]. Obok finansowania ogromnej liczby programów badawczych i implementacyjnych, m.in. przez agencję NASA[96] i Departament Obrony[97] oraz Narodowe Instytuty Zdrowia (ang. *National Institutes of Health*), które zorganizowały specjalną platformę internetową wymiany informacji dotyczących zastosowań 3DP w medycynie oraz plików do wydrukowania[98], zorganizowano też Narodowy Innowacyjny Instytut Wytwarzania Przyrostowego (ang. *National Additive Manufacturing Innovation Institute*, NAMII)[99].
   b. W Wielkiej Brytanii powołano Grupę Sterującą (ang. *Steering Group*, SG) do spraw AM, która jest bardzo aktywna i składa się z przedstawicieli przemysłu, naukowców, rządu i organizacji zawodowych. Sformułowano tam strategię rozwoju 3DP[100], zawierającą kompleksową wizję rozwoju wraz z planem jej realizacji. SG zajmuje się badaniami w dziedzinach kosztów inwestycji, designu, własności intelektualnej, zabezpieczenia i bezpieczeństwa, materiałów i procesów, umiejętności/edukacji, standardów i atestacji, testowania i walidacji, a także czynnikami hamującymi rozwój 3DP/AM i publikuje doroczne raporty (p. powyżej).

      W opracowanej przez SG strategii wymieniono czynniki ograniczające rozwój druku 3D. Dotyczą one zarówno używanych materiałów, jak i designu, standardów jakości, np. wyposażenia wnętrza samolotu[101], a także braku wykwalifikowanego personelu oraz ograniczonego dostępu do finansowania. Raporty grupy SG są corocznie aktualizowane. Ważnym ogólnym tematem badań tej grupy jest niszczący wpływ AM na projektowanie, wytwarzanie i modele biznesowe w Wielkiej Brytanii oraz wartości dodane, które może ono przynieść gospodarce.

      Długofalowy cel (w następnej dekadzie) to wykorzystanie możliwości stwarzanych przez AM na podstawie bieżącej, silnej pozycji kraju na rynku globalnym i wzmacnianie tej pozycji w przyszłości, jednocześnie chroniąc istniejące miejsca pracy i generując nowe, a także zwalczając rozdrobnienie tej dziedziny przemysłu i brak wykwalifikowanej kadry. W Narodowej Strategii Zjednoczonego Królestwa na lata 2018–2025[102] przedstawiono wizję rozwoju 3DP/AM, polegającą m.in. na współpracy przemysłu, naukowców, rządu i instytucji finansowych, dzięki którym Wielka Brytania pozostanie liderem w tej dziedzinie. Powstaje tam wiele inicjatyw, dzięki którym ludzie wiedzą więcej o 3DP/AM, a młodzież jest stymulowana do wybrania studiów STEM, m.in. przez młodych praktykantów firmy produkującej drukarki do metalu pokazane na wystawie MACH[103].
   c. Burzliwy rozwój przemysłu związanego z drukiem 3D obserwujemy na Dalekim Wschodzie. Przewiduje się, że Chiny w najbliższych latach staną się największą potęgą w 3DP na świecie[104]. W Chinach działa program „Made in China 2025", obejmujący również druk 3D[105]. Program ten prowadzi 5 wiodących uniwersytetów i 13 znanych firm w dziedzinie 3DP/AM. Zajmują się one drukarkami, materiałami do drukowania, komponentami i opracowaniem oprogramowania, a także standardami i certyfikacją oraz testowaniem i walidacją. Badane materiały obejmują metale, ceramikę, plastiki, materiały amorficzne, supramolekularne, kompozytowe i funcjonalne, a także nano- i mikrowytwarzanie inteligentne (ang. *smart*) materiały oraz druk 4D.

      Szybki innowacyjny rozwój jest silnie stymulowany przez państwo. Koszty tego programu są znacznie większe niż to, co przeznacza się na rozwój 3DP/AM w państwach Zachodu[106]. Na rozmach w finansowaniu 3DP/AM wskazuje również fakt, że do końca 2017 roku wszystkie z prawie 400 tys. szkół podstawowych w Chinach mają dysponować drukarkami 3D[107]. Wiele firm aktywnych w 3DP/AM, np. HP i UPS, nawiązuje partnerską współpracę z firmami chińskimi. Gwałtowny rozwój AM w metalu w Chinach był możliwy m.in. dzięki niskim kosztom produkcji proszków metalicznych w tym kraju[108]. Jednym z najsilniejszych graczy na rynku 3DP jest Korea Południowa, która wprowadziła projekt rozwijania nowych technologii (*Multi-Scale Additive Manufacturing Lab*), oczywiście obejmujący również 3DP[109]. W ramach tego projektu zaplanowano wydatki rzędu 37 mln dolarów na 3DP w 2017 roku i ulgi podatkowe związane z aktywnością w tej dziedzinie[110], chociaż opublikowany w 2016 roku przez Hyundai Research Institute raport wymienia wiele ograniczeń w innowacyjności gospodarki koreańskiej również w dziedzinie 3DP/AM[111].

      W Japonii, która wydaje się mniej zaawansowana w dziedzinie druku 3D, New Energy and Industrial Technology Development Organization finansuje m.in. programy zastosowania 3DP w medycynie regeneracyjnej[112]. Rozwijane tam są różne dziedziny związane z drukiem 3D – od imitacji tradycyjnych naczyń z laki[113] do nowoczesnych rozwiązań wykorzystujących rozwiązania w chmurze do usprawnienia procesów biznesowych w druku 3D[114].
   d. Dubaj do niedawna był niewielkim, bardzo bogatym emiratem (wcale nie tylko dzięki ropie naftowej; miał bardzo

zróżnicowaną, lecz nie innowacyjną gospodarkę). Trudno jest zdobyć dane na temat innowacyjności jego gospodarki, bo Globalny Indeks Innowacyjności (ang. *Annual Global Innovation Index*)[115] podaje jedynie dane zbiorcze dla Zjednoczonych Emiratów Arabskich, które są bardzo zróżnicowane. Ale informacje na temat popierania innowacyjności, w tym 3DP, docierające z Dubaju są fascynujące. Wykorzystując druk 3D w Dubajskiej Oazie Krzemowej (*Dubai Silicon Oasis*[116]), w 2014 roku zajmowano się projektem ekologicznym polegającym na opracowaniu sensora inteligentnego miasta (ang. *Smart City Sensor*) do monitorowania recyklingu[117], i w tym samym roku otworzono pierwszą fabrykę drukującą w 3D[118]. We wrześniu 2016 roku zainicjowano w ZEA program popierania innowacyjnych technologii 3D Printing Strategy[119], skoncentrowany na budownictwie, towarach konsumpcyjnych i zastosowaniach medycznych[120].

W jego ramach działa agencja Dubai Future Accelerators[121], reklamująca się jako najbardziej efektywna agencja rządowa tego typu na Ziemi. W swojej siedzibie, pierwszym na świecie wydrukowanym w 3D w 2016 roku w ciągu 17 dni budynku biurowym[122], popiera ona, obok innych nowoczesnych technologii, 3DP. Przy budowie tego budynku korzystano z megadrukarki o wymiarach $6 \times 12 \times 36$ m^3, zaś w następnym roku zaplanowano budowę tą samą metodą wysokościowca. Warto również wspomnieć o zastosowaniach w medycynie, które były przedstawione na konferencji „Arab Health"[123]. W ramach rozwoju tej dziedziny mają być opracowane bioniczne protezy kończyn, które w 2025 roku mają kosztować ok. 100 dolarów za sztukę[124]. Warto wspomnieć o zastosowaniu 3DP do produkcji różnych elementów w dubajskim metrze[125]. Kraj ten ma znaczne ilości pieniędzy, które nie od dziś bardzo efektywnie inwestuje w rozwój.

Specjalne programy związane z drukiem 3D mają również Niemcy (ang. *Fraunhofer Additive Manufacturing Allience*), Francja (ang. *Industry of the Future*) i Kanada (ang. *Multi-Scale Additive Manufacturing Lab*).

4. Burzliwemu rozwojowi 3DP towarzyszą zmiany tej technologii. Obecnie największe firmy działające w tej dziedzinie to amerykańsko-izraelski Stratasys i amerykański 3D Systems, ale ostatnio na rynek tej technologii weszło kilka gigantów, znanych dotychczas z aktywności w innych dziedzinach, takich jak Hewlett-Packard, Canon, Microsoft czy BASF, a GE, Siemens i inne wielkie korporacje stosują 3DP/AM, a także opracowują przemysłowe zastosowania druku 3D w różnych dziedzinach. Konkurencyjność wymusza zmiany: niektóre firmy zwalniają impet, wycofują się z rynku lub upadają, inne zmieniają model biznesowy (np. polski Jelwek, który na pewien czas przestawił się z produkcji drukarek na usługi drukowania w 3D; inf. prywatna).
5. Interesującą właściwością 3DP jest jego niszczący charakter, który charakteryzuje każdą nową technologię[126]. W pewnych sytuacjach warto wykorzystać technologie hybrydowe, łączące 3DP z innymi, bardziej klasycznymi metodami wytwarzania[127].
6. Wydaje się, że ważnym kierunkiem w przyszłości będzie powiązanie 3DP i jego zastosowań z rozwojem nanotechnologii[128]. Rewolucyjna drukarka DragonFly 2020 firmy Nano Dimension[129], opracowana w celu drukowania układów scalonych, to tylko jeden z kroków w tym kierunku[130]. Warto również wspomnieć o drukowaniu w 3D mikrobaterii litowo-jonowej[131] o rozmiarach 1–10 mm^3 lub mniejszych[132], o zastosowaniu druku w 3D i nanotechnologii do wykrywania toksycznych cieczy[133] czy też o drukowaniu optyki w nanoskali[134].
7. Sensacją, nie tylko w Polsce, była informacja, że nie doszło do transakcji polskiej firmy Zortrax z koncernem Dell, którą przedstawiano jako kamień węgielny wspaniałej, światowej kariery Zortraxu[135].

W burzliwym rozwoju 3DP napotyka na bariery wymienione m.in. w angielskiej Narodowej Strategii Rozwoju Druku w 3D[136]. Sophie Jones z firmy Added Scientific[137] tak formułuje niektóre tendencje rozwoju w 2017 roku i przewidywania na następne lata:

1. Dostosowanie procesów do metod produkcyjnych, ponieważ mimo długiego rozwoju architektura drukarek właściwie się nie zmieniła. Są one dzisiaj szybsze i bardziej niezawodne, ale niekoniecznie dostosowane do procesów produkcyjnych (np. do produkcji taśmowej[138]). W przyszłości pojawią się nowe procesy konkurencyjne w stosunku do modeli biznesowych procesów dzisiejszych.
2. Pojawią się systemy drukujące różnymi materiałami w tym samym czasie. Dotyczyć to będzie nie tylko drukowania podobnymi do siebie polimerami – co umożliwiają stosowane dziś drukarki wykorzystujące technologię natryskiwania materiałowego (ang. *material jetting*) – lecz również jednoczesnego wykorzystania różnorodnych materiałów, np. metali, plastików, półprzewodników i materiałów biologicznych. Powstaną wtedy nowe możliwości w sektorach elektroniki użytkowej, urządzeń biomedycznych i innych, prowadzące do tworzenia urządzeń naszalnych (ang. *wearable*) oraz Internetu Rzeczy.
3. Tworzenie nowych narzędzi projektowania. Dość często tradycyjne oprogramowanie CAD nie wystarcza do celów specyficznych dla 3DP[139]. Powstaną nowe narzędzia projektowania oparte o woksele (ang. *voxel*)[140], zawierające wyniki skanowania i symulacji. Będą one zawierały systemy zarządzania produkcją pomagające inżynierom i projektantom optymalizować projekty do drukowania w 3D. Wydaje się, że w tę stronę rozwija się inteligentny ekosystem wytwarzania (ang. *Smart Manufacturing Ecosystem*), który obejmuje nie tylko 3DP[141]. Obok tworzenia nowych narzędzi do programowania warto również wspomnieć o tworzeniu całych platform do wytwarzania, takich jak Divergent Manufacturing Platform[142].
4. Ramy prawne. W tym aspekcie mówi się głównie o zagrożeniach prawa do własności intelektualnej w 3D. Wydaje się, ze konieczne jest stworzenie regulacji prawnych, które będą dotyczyć dużo szerszych problemów prawnych niż tylko IP. W szczególności istnieje konieczność sformułowania

regulacji prawnych dotyczących zastosowań 3DP w farmacji i opiece zdrowotnej.

Z kolei na trzeciej konferencji firmy prawnej Benesch, poświęconej drukowi 3D, wymieniono jako ograniczenia jego rozwoju: brak edukacji na temat tej technologii, koszt materiałów i skomplikowanie oprogramowania w porównaniu z wiedzą ogólną[143], na co wskazują również opracowania brytyjskie[144]. Wydaje się, że te ograniczenia w mniejszym stopniu dotyczą zastosowań przemysłowych druku 3D, ale są istotne dla drukowania domowego, które ciągle nie może nabrać prawdziwego rozpędu. Propagowanie przemysłowych zastosowań 3DP podejmuje m.in. Stratasys we współpracy z Manufacturing Technology Center z Coventry (Wielka Brytania)[145]. Wielonarodowa firma Hensoldt z główną siedzibą w Bawarii w Niemczech, działająca w dziedzinach obronności, przemysłu lotniczego i kosmicznego oraz elektroniki, prowadzi interesujący projekt mobilnego laboratorium produkcyjnego, który ma wspomóc firmy przy wprowadzaniu technologii AM[146].

W 2016 roku ponad połowa wytwarzania metodą 3DP wykorzystywała plastiki i żywice. Warto jednak zauważyć rosnący udział drukowania metalem. Według firmy 3Diligent w latach 2015–2016 miał on wzrosnąć z 14% do 27%, głównie dzięki użyciu nierdzewnej stali, tytanu i aluminium[147]. Do tego rynku chce dołączyć tandem rosyjskiego giganta produkującego aluminium Rusal i indyjskiego koncernu Runaya Metsource Partner[148]. Bardzo ważne z punktu widzenia zastosowań przemysłowych 3DP jest wprowadzenie drukarki Blackbelt[149], wyposażonej w przenośnik taśmowy, co pozwala na drukowanie bardzo długich obiektów oraz produkcję seryjną. Podobnie do seryjnej produkcji przeznaczony jest opracowany w ramach unijnej inicjatywy[150] system drukowania w 3D zoptymalizowany dla bardzo szybkiego wytwarzania małych części metalowych[151].

Ważnym problemem, który wymaga rozwiązania w każdej firmie zajmującej się drukiem 3D, jest wybór modelu biznesowego[152]. Przykładowo, jedną z wielu decyzji, które należy podjąć, jest wybór między drukowaniem w jednym miejscu (np. tworząc farmy drukarek[153]) a drukowaniem rozproszonym.

Zmiany w sposobie prowadzenia biznesu w dziedzinie 3DP, zwłaszcza dla startupów, omówiono na blogu portalu 3D Print Pulse[154], wskazując, że zmienia on sposób wytwarzania produktów. Zanim 3DP weszło do masowego użycia, projektowanie, prototypowanie i wytwarzanie były czasochłonne i kosztowne, nie pozwalając wielu młodym firmom zaistnieć. Wprowadzenie druku 3D zmieniło to w zasadniczy sposób, znacznie obniżając potrzebny czas i wydatki. Trzy czynniki odgrywają tutaj ważną rolę:

1. Jeśli chodzi o design, to najważniejsza jest możliwość drukowania w 3D rzeczy, których nie można było wytworzyć przedtem innymi metodami. Designerzy są teraz nieporównanie mniej ograniczeni warunkami wytwarzania i mogą się skoncentrować na jak najbardziej efektywnym designie ściśle powiązanym z funkcjonalnością.
2. Zmiana sceny startupowej. Przedsiębiorcy mający ciekawy pomysł na produkt mogą go szybko i tanio zaprojektować. Możliwość szybkiego wykonania i sprawdzenia pomysłu dzięki drukowi 3D zmienia warunki startu w biznesie. Zauważają to już wielcy inwestorzy.
3. Innowacje. Druk 3D rozszerza granice innowacyjnego designu, ale szeroko zakrojone innowacje zmieniają również samą technologię. Zmieniają się stosowane do druku materiały (już nie tylko plastik, lecz coraz częściej metal, ceramika itd.), procesy drukowania i drukarki. Na razie nie spełniły się nadzieje pokładane w rynku druku domowego, ale burzliwie rozwija się rynek przemysłowy.

Powyższe czynniki spowodują dalszy burzliwy rozwój druku 3D, jednocześnie likwidując znaczną część istniejącego przemysłu i zmieniając całkowicie krajobraz przemysłowy.

Największy udział w zastosowaniach 3DP, wyłączając zastosowania medyczne, mają przemysły motoryzacyjny, lotniczy i kosmiczny. O jego wykorzystaniu w celach militarnych niewiele wiadomo. Bardzo ważne są również zastosowania w przemyśle gazowym, naftowym i energetycznym (m.in. do produkcji wirników, statorów, dyszy turbin, elementów i modeli narzędzi do wiercenia, części przepływomierzy, zaworów i kolektorów pomp), ale nie należy ignorować możliwości 3DP (m.in. w budownictwie, elektronice oraz przemysłach spożywczym i jubilerskim).

Nie wiem, do którego rozdziału włączyć mikrofluidykę i laboratorium na chipie (ang. *lab-on-chip*), ale warto o nich wspomnieć, gdyż 3DP jest w nich coraz częściej stosowany[155]. Ostatnio (marzec 2018) opracowano wydrukowane w 3D urządzenie mikrofluidyczne do analizy komórek, które jest znacznie tańsze (600 dolarów) od dotychczasowych, i – co ważne – jego projekt jest otwarty[156]. Bardzo obiecujące są większe reaktory chemiczne zbudowane przez zespół Cronina[157].

Przewidywany rozwój 3DP w najbliższych latach omówił Stephen Chadwick z Dassault Systèmes[158]. Innowacje w tej dziedzinie mają spowodować większe zasięgi samolotów i rakiet, ich mniejszą wagę oraz zredukowaną emisję zanieczyszczeń powietrza dzięki modelowaniu matematycznemu części przed ich produkcją. Modelowanie, w tym przypadku zwane wirtualnym testowaniem, nie tylko opisze np. zachowanie części w warunkach stresu, lecz również uwzględni czwartą współrzędną – czas, pokazując zużycie tej części w miarę upływu czasu. Uwagi Chadwicka dotyczyły przemysłu lotniczego i kosmicznego, ale omówiona w nich integracja oprogramowania powiązana z przemianami modeli biznesowych dotyczy również innych gałęzi przemysłu. Oprogramowanie to powinno powiązać modelowanie i testowanie produktów przed ich wytwarzaniem z procesem produkcyjnym oraz analizą działania wydrukowanych w 3D części w czasie uwzględniającą ich zużycie (zwane wirtualnym testowaniem)[159]. Warto dodać, że firma Markets & Markets ocenia, że cały rynek 3DP/AM ma osiągnąć wartość 32,78 mld dolarów w 2023 roku, zaś w latach 2017–2023 jego przewidywany skumulowany roczny czynnik wzrostu CAGR ma osiągnąć 25,76%[160]. Warto zaznaczyć, że różni analitycy podają nieco różniące się wartości, ale wszyscy oni zgadzają się co do przewidywanych trendów. Na blogu sculpteo pojawiła się porada, jak zidentyfikować możliwości zyskownego wprowadzenia (ang. *business opportunities*) druku

3D do twojej firmy[161]. W 2017 roku pokazano, że w USA drukowanie w 3D opłaca się nie tylko w przemyśle, lecz również w domu[162]. Początkującej studentce na kierunku technicznym, która nie miała pojęcia o druku 3D, podarowano drukarkę i polecono jej zapisywać, jak jej używa. Po roku okazało się, że zakup drukarki okazał się dla niej korzystny.

Przypisy

1 C. Weller, R. Kleer, F.T. Piller, *Economic Implications of 3D Printing: Market Structure Models in Light of Additive Manufacturing Revisited,* „J. Production Economics" 2015, 43–56, s. 164; C. Weller, R. Kleer, F.T. Piller, marzec 2015, https://www.researchgate.net/publication/273525202_Economic_Implications_of_3D_printing_Market_structure_Models_in_light_of_additive_manufacturing_Revisited.

2 S.A. Goehrke, 30.08.2018, https://www.fabbaloo.com/blog/2018/8/30/digifabster-interview?utm_source=feedblitz&utm_medium=FeedBlitzRss&utm_campaign=fabbaloo/default.

3 L. Gaget, 24.07.2018, https://www.sculpteo.com/blog/2018/07/24/study-3d-printing-inaeronautics-a-real-game-changer/.

4 S. Davies, 23.04.2018, https://www.tctmagazine.com/tct-events/3d-printing-at-rapid-tct/stratasys-launches-new-prototyping-and-production-3d-printer/.

5 https://www.am-conference.com/.

6 http://www.tctshow.com/.

7 A. Cheng, 22.05.2018, https://www.forbes.com/sites/andriacheng/2018/05/22/with-adidas-3d-printing-may-finally-see-its-mass-retail-potential/#725b281e4a60.

8 *HP and Deloitte Announce Alliance to Accelerate Digital Transformation of US $12 Trillion Global Manufacturing Industry*, 24.08.2017, https://press.ext.hp.com/us/en/press-releases/2017/hp-and-deloitte-announce-alliance-to-accelerate--digital-transfo.html.

9 https://www.sculpteo.com/en/get/report/state_of_3D_printing_2017/.

10 M. Cotteleer, 7.04.2014, https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/3d-opportunity/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-tooling.html.

11 R. Lakshmipathy, 16.08.2017, http://blogs.solidworks.com/solidworksblog/2017/08/can-identify-best-design.html.

12 J.D. Albert, 9.12.2015, http://www.bresslergroup.com/blog/the-six-prototypes-everystartup-needs-to-make/.

13 *Virtual Foundry: Desktop 3D Metal Printing Today*, 11.07.2018, https://3dprintingindustry.com/news/virtual-foundry-desktop-3d-metal-printing-today-136052/.

14 B. Jackson, 21.06.2018, https://3dprintingindustry.com/news/general-motors-saves-300000-by-switching-to-3d-printed-tooling-134991/.

15 H.G. Lemu, S. Kurtovic, *3D Printing for Rapid Manufacturing: Study of Dimensional and Geometrical Accuracy, w: Advances in Production Management Systems. Value Networks: Innovation, Technologies, and Management*, J. Frick, N.T. Laugen (red.), „IFIP Advances in Information and Communication Technology" 2012, Vol 384. Springer, Berlin, Heidelberg, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-33980-6_51, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-33980-6_51.

16 M. Holweg, 23.06.2015, https://hbr.org/2015/06/the-limits-of-3d-printing.

17 http://www.tctshow.com.

18 A. Leandri, 17.09.2015, https://3dprintingindustry.com/news/a-look-into-powder-materials-for-metal-3d-printing-57788/.

19 http://www.hybridmanutech.com/.

20 *Additive Manufacturing UK. National Strategy* 2018–2025, http://am-uk.org/project/additive-manufacturing-uk-national-strategy-2018-25/.

21 A. Locker, 23.04.2017, https://all3dp.com/1/worlds-fastest-3d-printer-speed-3d-printing/.

22 Na przykład S. Touw, 3.10.2016, https://3dprinting.com/lighting/smooth-3d-printingno-post-processing-required-with-printoptical-technology/; J. Anderton, 5.06.2017, http://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/15041/VIDEO-How-to-Eliminate-Post-Processing-in-Additive-Manufacturing.aspx; S. Charlesworth, 16.05.2016, http://www.tested.com/tech/3d-printing/570369-bits-atoms-how-carbons-clip-3d-printing-technology-works/.

23 http://ajmaker.pl/produkt/3dgence-double-drukarka-3d/.

24 K. Stevenson, 21.06.2018, http://www.fabbaloo.com/blog/2018/6/21/3d-printing-may-change-mass-manufacturing-expectations?utm_source=feedblitz&utm_medium=FeedBlitzRss&utm_campaign=fabbaloo/default.

25 https://wohlersassociates.com/2017report.htm.

26 https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/watify/about-watify.

27 https://en.wikipedia.org/wiki/Chuck_Hull.

28 28 Fabian, 9.11.2015, https://i.materialise.com/blog/3d-printing-file-formats/.

29 S. Saunders, 1.03.2017, https://3dprint.com/166552/amsc-publishes-final-roadmap/; http://www.stratasys.com/aerospace/aircraft-interiors.

30 E. Utley, 15.05.2017, http://blogs.solidworks.com/solidworksblog/2017/05/6-ways-reduce-development-costs-industrial-3d-printing.html.

31 U. Iftikhar, 3.10.2018, https://3dprintingindustry.com/news/ai-build-enables-autonomous-3d-printing-factories-141008/.

32 *Additive Manufacturing UK. National Strategy 2018–2025*, http://am-uk.org/project/additive-manufacturing-uk-national-strategy-2018-25/.

33 Premium AEROTEC, Daimler, EOS, 19.04.2017, https://www.premium-aerotec.com/en/media/press-releases/premium-aerotec-eos-and-daimler-prepare-the-next-generation-of-industrial-3d-printing/.

34 https://www.am-conference.com/.

35 https://www.iso.org/certification.html.

36 https://www.americamakes.us/.

37 https://www.ansi.org/.

38 L. Grffiths, 28.06.2018, https://www.tctmagazine.com/3d-printing-news/america-makes-ansi-version-2-standardization-additive-manufacturing/.

39 M. Humblers, 24.04.2017, http://www.computerworld.com/article/3192085/internet-of-things/ceos-rate-productivity-very-low-from-emerging-tech.html.
40 Ibidem.
41 M. Petch, 24.08.2016, https://3dprintingindustry.com/news/stratasys-announce-infinitebuild-robotic-composite-share-price-jumps-94711/.
42 M. Neilson, http://www.stratasys.com/demonstrators.
43 M. Petch, 24.04.2017, https://3dprintingindustry.com/news/siemens-using-3d-printingcut-production-time-weeks-days-111335/.
44 *Print Me a Stradivarius*, 10.02.2011, https://www.economist.com/node/18114327.
45 https://www.youtube.com/watch?v=trwy2Z-e2GA.
46 https://www.youtube.com/watch?v=gF0pOUBS3sg.
47 http://www.ge.com/reports/tag/3d-printing/.
48 https://www.siemens.com/press/en/feature/2014/corporate/2014-03-3d-druck.php.
49 https://www.ge.com/additive/.
50 T. Kellner, 13.11.2017, http://www.ge.com/reports/epiphany-disruption-ge-additivechief-explains-3d-printing-will-upend-manufacturing/.
51 *GE Additive Acquires Simulation Software Developer GeonX*, 16.11.2017, https://www.tctmagazine.com/tct-events/formnext-powered-by-tct/ge-additive-geonx-software/.
52 J. Keough, 15.12.2016, https://www.inddist.com/news/2016/12/ge-sell-two-industrial-units-expand-additive-mfg-investment.
53 T. Kellner, 14.11.2017, https://www.ge.com/reports/an-engineers-dream-ge-unveils-a-huge-3d-printer-for-metals/.
54 https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/industry-and-automation/additive-manufacturing-3d-printed-gas-turbine-blades.html.
55 https://www.thomasnet.com/profile/30847744/star-rapid.html.
56 D. Mantey, 20.07.2018, https://news.thomasnet.com/featured/tractor-uses-3d-printed-partto-haul-2-600-pounds?channel=newsletter&campaign_type=PNA&campaign_name=0718&utm_campaign=0718&utm_medium=newsletter&utm_source=PNA-&tinid=221779953.
57 Javelin Technologies, 16.07.2018, http://blogs.solidworks.com/solidworksblog/2018/07/harness-the-power-of-solidworks-electrical-3d.html.
58 J. Leitloff, 6.03.2015, https://3dprintingindustry.com/news/how-3d-printing-is-changing-the-game-of-designer-jewelry-43857/.
59 L. Gaget, 18.04.2018, https://www.sculpteo.com/blog/2018/04/18/3d-printing-lattices-find-the-best-lattice-generation-tools/.
60 I.J. Petrick, T.W. Simpson, *3D Printing Disrupts Manufacturing: How Economies of One Create New Rules of Competition*, „Research-Technology Management" 2013, Vol. 56(6), s. 12–16.
61 *Florida Jeweller Switches to EnvsionTEC's cDLM for Increased Speed and Accuracy*, 12.04.2018, https://envisiontec.com/case-studies/manufacturing/florida-jeweller-switches-to-envisiontecs-cdlm-for-increased-speed-and-accuracy/.
62 *3D Printers Expand Beyond Prototyping Transform Manufacturing*, 20.02.2015, https://spark.autodesk.com/blog/3d-printers-expand-beyond-prototyping-transform-manufacturing.
63 https://www.youtube.com/watch?v=zXE-icw28n8.
64 J. Vincent, 7.04.2017, https://www.theverge.com/2017/4/7/15216724/adidas-3d-printed-sneaker-futurecraft.
65 TCT Magazine, *Canalys on the State of the 3D Printing Industry at CES*, 13.05.2016, http://www.tctmagazine.com/3d-printing-at-ces/canalys-state-of-3d-printing-industry-ces/.
66 *French 3D Printing Startup Prismadd Begins Industrial Production*, 30.01.2017, https://www.3ders.org/articles/20170130-french-3d-printing-startup-prismadd-begins-industrial-production.html
67 T. Wohlers, 28.01.2017, https://wohlersassociates.com/blog/2017/01/forecasting-the-future/.
68 Kira, 7.04.2016, http://www.3ders.org/articles/20160407-airbus-group-to-establish-3d-printing-aerospace-factory-germany.html.
69 C. Clarke, 21.03.2017, https://3dprintingindustry.com/news/winsun-lease-concrete-3d-printers-saudi-arabia-billion-dollar-constuction-deal-108715/.
70 S. Saunders, 9.03.2017, https://3dprint.com/167384/siemens-nuclear-power-plant-part/.
71 P. Jonas, http://www.stratasys.com/aerospace/aircraft-interiors.
72 T. Kellner, 15.07.2014, https://www.ge.com/reports/post/91763815095/worlds-first-plant-to-print-jet-engine-nozzles-in/.
73 T. Kellner, 14.04.2014, http://www.ge.com/reports/post/116402870270/the-faa-cleared-the-first-3d-printed-part-to-fly/.
74 C. Sembera, 23.05.2018, https://all3dp.com/all3dp-visits-desktop-metal/.
75 B. Jackson, 1.11.2018, https://3dprintingindustry.com/news/iro3d-starts-shipment-of-5000-metal-3d-printer-142483/.
76 https://en.wikipedia.org/wiki/Vertical_market.
77 J. Peels, 16.05.2017, https://3dprint.com/174375/decentralize-production-3d-print/.
78 S. Saunders, 23.12.2016, https://3dprint.com/159726/local-motors-berlin-microfactory/.
79 Tess, 30.01.2017, https://www.3ders.org/articles/201701-30-french-3d-printing-startup-prismadd-begins-industrial-production.html.
80 E.E. Petersen, J. Pearce, „Technologies" 2017, No. 5(1), 7, http://www.mdpi.com/2227-7080/5/1/7/htm, doi: 10.3390/technologies5010007.
81 S. Saunders, 16.02.2017, https://3dprint.com/165246/mtu-at-home-3d-printing-study/.
82 C. Scott, 15.03.2017, https://3dprint.com/167938/project-skywalker-voodoo/.
83 S. Saunders, 12.04.2017, https://3dprint.com/170887/coobx-liftcell-production-lines/.
84 M. Molitch-Hou, 27.04.2017, http://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/14795/Review-Wohlers-Report-2017-Offers-Broad-Insights-into-3D-Printing-Industry.aspx.
85 B.B. O'Neal, 11.07.2016, https://3dprint.com/141762/research-and-markets-2022/.
86 3d Printing Market by Printer Type Material Type, lipiec 2017, http://www.researchandmarkets.com/

reports/3673542/3d-printing-market-by-printer-type-material-type.
87 https://www.floship.com/kickstarter-alternatives--you-should-know-about/.
88 A. Bęczkowski, 3.04.2017, http://wethecrowd.pl/przewodnik-po-polskich-platformach-crowdfundingowych/.
89 M. Molitch-Hou, 10.11.2014, https://3dprintingindustry.com/news/3d-printed-diy-laptop-teaches-diy-36130/.
90 https://www.kickstarter.com/projects/tiko3d/tiko-the-unibody-3d-printer.
91 https://www.kickstarter.com/projects/zortrax/zortrax-m200-professional-desktop-3d-printer.
92 G. Savell, A. Bonafe, C. Goulding, http://www.rdtaxsavers.com/articles/US-3D-Printing-Initiative.
93 S. Saunders, 29.06.2018, https://3dprint.com/218069/am-standards-roadmap-version-2/.
94 C. Goulding, 17.04.2017, https://3dprint.com/171471/tax-incentives-3d-printer-startups/.
95 C. Goulding, 28.05.2017, https://3dprint.com/176102/rd-tax-credit-for-3d-bioprinting/.
96 https://www.nasa.gov/topics/technology/manufacturing-materials-3d/index.html.
97 Y. Young, 26.01.2017, https://3dprint.com/162896/pentagon-supports-3d-printing/.
98 https://3dprint.nih.gov/.
99 https://www.americamakes.us/.
100 http://www.amnationalstrategy.uk/.
101 http://www.stratasys.com/aerospace/aircraft-interiors.
102 M. Petch, 9.10.2017, https://3dprintingindustry.com/news/uk-additive-manufacturing-national-strategy-2018-25-published-3d-printer-122461/.
103 Renishaw, Renishaw Apprentices Inspire a New Generation of Engineers at MACH 2018, 4.07.2018, http://www.renishaw.com/en/renishaw-apprentices-inspire-a-new-generation-of-engineers-at-mach-2018-43639.
104 N. Hall, 21.05.2016, https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-explodes-china-79707/.
105 https://en.wikipedia.org/wiki/Made_in_China_2025.
106 R. Park, 2.08.2018, https://www.fabbaloo.com/blog/2018/8/2/additive-international-2018-niiamc-an-additive-manufacturing-city.
107 B. Krassenstein, 8.04.2015, https://3dprint.com/56699/china-3d-printers-schools/.
108 Simmtime, 28.12.2017, http://www.simmtime.com/news_en.htm?dId=651.
109 C. Scott, 27.12.2016, https://3dprint.com/159934/south-korea-economics-tech/.
110 Tess, 1.06.2017, http://www.3ders.org/articles/20170601-south-korean-researchers-to-develop-3d-bioprinting-ear-reconstruction-process.html.
111 C. Scott. 17.08.2016, https://3dprint.com/146134/south-korea-industry-4-0/.
112 J. Young, 21.11.2016, https://3dprint.com/155980/japanese-3d-=printing-industry/.
113 H. Fukasawa, https://www.rinkak.com/us/urushi?hl=en.
114 https://www.3dprinting-mms.com/en/.
115 https://www.globalinnovationindex.org/gii-2016-report.
116 https://www.dsoa.ae/en/.
117 https://3dprint.com/21170/uae-green-prototype-3d-print/.
118 S. Taylor, 19.06.2014, https://3dprintingindustry.com/news/dubaisfirst-direct-digital-factory-future-28510/.
119 B.B. O'Neal, 26.02.2017, https://3dprint.com/tag/united-arab-emirates-3d-printing-strategy/.
120 S. Saunders, 3.01.2017, https://3dprint.com/160522/dubai-future-accelerators-2/.
121 https://dubaifutureaccelerators.com/en.
122 H.R. Mendoza, 14.06.2016, https://3dprint.com/138336/syska-hennessy-dubai-office/.
123 *3D Printing for Medical Purposes Highlighted at Dubais 'Arab Health'*, 2.03.2017, http://www.euronews.com/2017/02/03/3-d-printing-for-medical-purposes-highlighted-at-dubai-s-arab-health.
124 S. Saunders, 31.05.2017, https://3dprint.com/176392/3d-printed-prosthetic-leg-dubai/.
125 *Next Station: 3D Printed Sprae Parts for Dubai Metro*, 3.09.2017, https://www.khaleejtimes.com/news/transport/next-station-3d-printed-spare-parts-for-dubai-metro.
126 U. Kylau, K. Goerlich, R. Mitchell, 28.07.2015, http://www.digitalistmag.com/executive-research/how-3d-printing-will-disrupt-manufacturing.
127 S.A. Goehrke, 18.01.2017, https://3dprint.com/162125/hybrid-technologies-are-the-future/.
128 M. Lee, H.-Y. Kim, „Langmuir" 2014, 30(5), s. 1210–1214, http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/la404704z.
129 http://www.nano-di.com/3d-printer.
130 http://www.machinedesign.com/3d-printing/who-s-who-3d-printing-electronics.
131 K. Sun, T.S. Wei, B.Y. Ahn, J.Y. Seo, S.J. Dillon, J.A. Lewis, „Adv Mater." 2013, No. 25(33), s. 4539-45443, doi: 10.1002/adma.201301036.
132 C.Y. Liu, X.X. Cheng, C.S. Lao, *The Application of 3D Printing in Lithium-ion Batteries*, International Conference on Mechanical Engineering and Control Automation (ICMECA 2017) 2017, s. 244–250.
133 https://phys.org/news/2017-01-d-nanotechnology-mighty--alliance-toxic.html.
134 https://3dprint.com/163289/nanoscribe-3d-print-micro-optics/.
135 M. Molitch-Hou, 2.08.2016, https://3dprint.com/144633/zortrax-deal-never-happened/.
136 http://www.amnationalstrategy.uk/.
137 http://www.disruptivemagazine.com/opinion/growing-additive-manufacturing-and-3d-printing-30?dm_i=3792,DYHV,3IR-97S,1EW19,1.
138 http://blackbelt-3d.com/.
139 A.S. Thomas, 26.01.18, https://www.shapeways.com/blog/archives/27653-cad-vs-modeling-which-3d-software-to-choose.html.
140 https://en.wikipedia.org/wiki/Voxel.
141 https://www.solidworks.com/media/smart-manufacturing-ecosystem.
142 C. Scott, 20.03.2017, https://3dprint.com/168401/divergent-3d-slm-solutions/.

143 C. Scott, 14.04.2017, https://3dprint.com/171290/benesch-third-3d-printing/.
144 http://www.amnationalstrategy.uk/.
145 *Stratasys Aim To Be a Catalyst for Technological Change at the MTC,* 27.03.2017, http://www.the-mtc.org/news-items/stratasys-aim-to-be-a-catalyst-for-technological-change-at-the-mtc.
146 M. Petch, 15.12.2017, https://3dprintingindustry.com/news/hensoldt-suite-mobile-self-sufficient-3d-printing-cell-126212/.
147 B.B. O'Neal, 3.03.2017, https://3dprint.com/166743/3diligent-3d-printing-report/.
148 C. Scott, 14.04.2017, https://3dprint.com/170982/rusal-runaya-joint-venture/.
149 http://blackbelt-3d.com/.
150 http://www.hyproline.eu/.
151 S.J. Grunewald, 8.07.2016, https://3dprint.com/141576/printvalley-mass-production/.
152 http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162515002425.
153 T. Koslow, 8.04.2016, https://3dprintingindustry.com/news/inside-3d-printing-nyc-turning-up-the-volume-printing-with-voodoo-manufacturing-76004/.
154 *Additive Manufacturing Is Bending the Rules*, 16.03.2017, http://www.3dprintpulse.com/edition/monthly-additive-manufacturing-metal-2017-03?open-article-id=6333774&article-title=additive-manufacturing-is-bending-the-rules&blog-domain=3d-innovations.com&blog-title=3d-innovations.
155 P.J. Kitson, M.H. Rosnes, V. Sans, V. Dragone, L. Cronin, *Configurable 3D-Printed Millifluidic and Microfluidic „lab on a chip" Reactionware devices*, „Lab Chip" 2012, No. 12, s. 3267–3271; N. Bhattacharjee, A. Urrios, S. Kang, A. Folch, The upcoming 3D-printing revolution in microfluidics, „Lab Chip" 2016; S. Waheed, J.M. Cabot, N.P. Macdonald, T. Lewis, R.M. Guijt, B. Paull, C. Breadmore, 3D Printed Microfluidic Devices: Enablers and Barriers, „Lab Chip" 2016, No. 16, s. 1993–2013.
156 R. Haria, 1.03.2018, https://3dprintingindustry.com/news/nygcs-3d-printed-microfluidic-kit-makes-cell- analysis-200-times-cheaper-129809/.
157 https://cen.acs.org/articles/96/i4/3-D-printed-reactors-construct.html.
158 www.dassault.fr/.
159 *3D Printing Next 5 Years Stephen Chadwick Dassault Systèmes*, 19.04.2018, https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-next-5-years-stephen-chadwick-dassault-systemes-111142.
160 http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/3d-printing.asp.
161 A. Richardot, 27.06.2018, https://www.sculpteo.com/blog/2018/06/27/our-10-best-tips-to-identify-3d-printing-opportunities-for-your-business/.
162 S. Saunders, 16.02.2017, https://3dprint.com/165246/mtu-at-home-3d-printing-study/.

Fragment pochodzi z książki:
Druk 3D/AM. Zastosowanie oraz skutki społeczne i gospodarcze,
H. Dodziuk, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2019

WYDARZENIA

- **Prąd ze Słońca: to się opłaca**

Wrocławska Elektrownia Słoneczna po roku działania zmniejszyła emisję CO_2 do atmosfery o 600 ton i wytworzyła o 10 procent więcej energii elektrycznej niż zaplanowano. To największa miejska rozproszona elektrownia fotowoltaiczna w Polsce i unikatowa w Europie. Blisko trzy tysiące paneli słonecznych produkuje prąd ze Słońca na 35 dachach wieżowców. Nowatorski projekt wsparł Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej we Wrocławiu.

Mieszkańcy nie ponieśli żadnych kosztów w związku z uruchomieniem Wrocławskiej Elektrowni Słonecznej. Przedsięwzięcie wsparły fundusze ekologiczne: NFOŚiGW oraz WFOŚiGW we Wrocławiu.

– Inwestycje trwały półtora roku. Spółdzielnia Mieszkaniowa Wrocław-Południe przeznaczyła na ten cel łącznie 4,2 mln złotych pochodzących z ogólnopolskiego programu Prosument – mówi Łukasz Kasztelowicz, Prezes Zarządu WFOŚiGW we Wrocławiu.

– W tej kwocie 1,7 mln złotych to dotacje, a 2,5 mln złotych to pożyczki wypłacone na preferencyjnych warunkach – dodaje.

Podczas roku funkcjonowania WES udało się wyprodukować o prawie 10 proc. więcej energii elektrycznej niż zakładały prognozy. Dokładnie o 60 tys. kWh. Instalacje miały ograniczyć o 557 ton emisję CO_2 do atmosfery. Zredukowały ją o 600 ton.

Z inwestycji korzystają zarówno ludzie, jak i środowisko. Piętnaście tysięcy wrocławian otrzymało tańszy prąd wytworzony przez panele fotowoltaiczne (o łącznej powierzchni 0,5 ha) dla oświetlenia części wspólnych budynków, zasilenia wind, hydroforni i urządzeń elektrycznych.

– Na pracę elektrowni słonecznej wpływa jakość ogniw w panelach fotowoltaicznych, ich łączna powierzchnia oraz liczba słonecznych godzin w ciągu roku. Wyniki, jakie uzyskaliśmy, świadczą o wydajności ekoinstalacji i o tym, że obecne warunki atmosferyczne sprzyjają inwestowaniu w fotowoltaikę – mówi Marek Dera, Wiceprezes Spółdzielni Mieszkaniowej Wrocław-Południe. – Mamy za sobą bardzo słoneczny rok – dodaje.

Nasłonecznienie w naszej strefie klimatycznej od lat rośnie. W kwietniu ubiegłego roku odnotowano we Wrocławiu aż 284,3 słoneczne godziny. Dziesięć lat wcześniej było ich w tym miesiącu 188,2, a w 2001 r. – 150.

– Udało nam się pozyskać zaskakująco dużo czystej energii w pierwszym roku działania naszej elektrowni – mówi Józef Śnieżek, Prezes Spółdzielni Mieszkaniowej Wrocław-Południe. – Planujemy rozbudowę elektrowni i kolejne projekty ekologiczne. Chcemy m.in. pilotażowo w czterech budynkach uruchomić pompy ciepła, które, współpracując z panelami fotowoltaicznymi, będą produkowały energię cieplną dla podgrzania wody – dodaje.

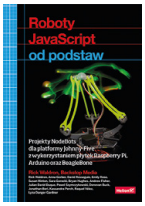
Źródło: WFOŚiGW we Wrocławiu

BIBLIOTEKA

Ken Blanchard, Renee Broadwell
Servant leadership w praktyce (ebook)
Wydawnictwo: MT Biznes
Rok wydania: 2019

Współcześni przywódcy wiedzą, że nie są w stanie wiele zdziałać bez skutecznych podwładnych. *Servant leadership* pozwala na wydobycie drzemiącej w pracownikach wiedzy, doświadczenia i motywacji oraz na ukierunkowanie tej siły na osiąganie wyników.

W wielu sektorach biznesu i organizacjach non-profit odchodzi się od tradycyjnych autokratycznych i hierarchicznych modeli przywództwa na rzecz *servant leadership* (przywództwa służebnego) jako optymalnego sposobu budowania relacji z ludźmi. To nowy model przywództwa, w którym lider jest przede wszystkim wsparciem dla swego otoczenia, zajmuje się usuwaniem barier, mobilizuje swoich ludzi i pomaga im osiągać cele. Wiele spośród firm nominowanych przez magazyn „Fortune" do rankingu „100 Najlepszych Pracodawców" uczyniło go integralną częścią własnej kultury korporacyjnej.



Rick Waldron, Backstop Media
Roboty JavaScript od podstaw. Projekty NodeBots dla platformy Johnny-Five z wykorzystaniem płytek Raspberry Pi, Arduino oraz BeagleBone
Wydawnictwo: Helion
Rok wydania: 2016

Powszechnie JavaScript uważa się za doskonałe narzędzie do programowania aplikacji internetowych. To jednak nie wszystko: ten język świetnie nadaje się również do programowania robotów. Umożliwia zaprojektowanie zachowania robota, określenie, w jaki sposób będzie on zmierzał do celu, reagował na sygnały z otoczenia, oczekiwał na instrukcje czy omijał przeszkody. Bardzo wygodnym narzędziem do programowania robotów jest platforma Johnny-Five. Umożliwia ona programowanie robotów zbudowanych z płytek Arduino, Raspberry Pi i BeagleBone. Dzięki tej książce można nauczyć się budowania i programowania robotów o najrozmaitszej funkcjonalności i wielu zastosowaniach. Do jej napisania Rick Waldron zaprosił czternastu mistrzów JS – inżynierów, nauczycieli, popularyzatorów i liderów. Dowiesz się od nich, w jaki sposób zbudować poszczególne elementy robota, jakie części zastosować i jak napisać potrzebny kod. Podpowiedzą Ci, jak przygotować sobie warsztat pracy oraz zdobyć potrzebne materiały. Znajdziesz tu mnóstwo wskazówek pomocnych przy planowaniu, budowie i testowaniu już istniejących projektów. Poszczególne zadania zostały tak dobrane, aby po ich wykonaniu można było zabrać się za trudniejsze projekty, o wyższym stopniu złożoności.

Paweł Płuciennik
Projektowanie elementów maszyn z wykorzystaniem programu Autodesk Inventor
Wydawnictwo: PWN
Rok wydania: 2017, wydanie pierwsze

Niniejsza publikacja skierowana jest przede wszystkim do studentów uczelni technicznych przystępujących do projektowania i obliczeń reduktorów. Dzięki niej bez trudu opracują projekt przekładni zębatej na studiach inżynierskich oraz fragmentu układu napędowego na studiach drugiego stopnia. Zawarte w książce przykłady dotyczą projektowania i obliczeń rzeczywistych, najczęściej występujących w budowie maszyn, elementów przekładni.

Książka jest kontynuacją serii publikacji Autora ułatwiających wykonanie obliczeń projektowych przy użyciu programu Autodesk Inventor. Jest swoistym przewodnikiem po funkcjach programu pomocnych przy projektowaniu skomplikowanych części maszyn i ich mechanizmów. Szczególną uwagę zwrócono na zasady obliczania reduktora jedno- i dwustopniowego z przekładnią zębatą o zębach skośnych.

Sprawdź, jak poprawnie przeprowadzić analizę wymiarową wałów reduktorów. Poznaj zasady doboru średnic końcowych czopów wałów. Zobacz, jak prawidłowo skonstruować korpus reduktora.

Niezbędnik specjalisty ds. BHP 2019
Wydawca: Wip
Rok wydania: 2019

Przedstawione w informatorze *Niezbędnik specjalisty ds. BHP* zagadnienia to wyciąg najczęściej poszukiwanych i najbardziej istotnych zagadnień w pracy służby bhp. Znajdziecie tu informacje dotyczące m.in. wymagań kwalifikacyjnych dla służby bhp, częstotliwości przeprowadzania i rodzajów szkoleń bhp, czynników i procesów stwarzających zagrożenie dla zdrowia i życia pracowników oraz organizacji miejsca pracy, ręcznego przenoszenia ciężarów, wypadków przy pracy, profilaktycznej opieki zdrowotnej. Format *Niezbędnika specjalisty ds. BHP* pozwoli nosić go zawsze przy sobie, w teczce bądź torebce. Dzięki naszemu informatorowi będziecie mogli szybko i w każdej chwili odnaleźć interesujące Was informacje bez konieczności przeszukiwania dzienników ustaw.

warto być TU

13. MIĘDZYNARODOWE TARGI KOLEJOWE

TRAKO

PATRONAT HONOROWY / MINISTER INFRASTRUKTURY

GRUPA PKP MTG

TRAKOTARGI.PL

24-27.09.2019 | GDAŃSK

amber expo

WSPÓŁORGANIZACJA

BOMBARDIER KNORR-BREMSE MEDCOM pesa tracktec

WSPÓŁPRACA

MINISTERSTWO INFRASTRUKTURY · UTK · IGTL · IK INSTYTUT KOLEJNICTWA · POLREGIO · POLSKA IZBA LOGISTYKI · Fundacja ProKolej · rbf railway business forum · SIRTS · unife

PARTNERZY MEDIALNI

RYNEK KOLEJOWY · KURIER · tts TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO · PGT POLSKA GAZETA TRANSPORTOWA · Baltic Transport · TSLbiznes · infotransport.pl Czasopisma transportowe · przegląd komunikacyjny · Rynek Infrastruktury · Transport Publiczny · VISIT GDAŃSK.COM · RAILWAY PRO · napędy i sterowanie

TEMATYKA

napędy i sterowanie
miesięcznik naukowo-techniczny

Nr 7/8 (243–244)
Rok XXI
Lipiec – Sierpień 2019

- **Systemy automatyzacji w górnictwie**
- **Automatyzacja transportu szynowego**
- Inteligentne układy zasilania, sterowania
- Diagnostyka
- Nowe technologie
- Silniki elektryczne
- Transformatory

Promocja pisma zgodnie z planem wydawniczym na www.nis.com.pl
Kontakt: e-mail: redakcja.nis@drukart.pl; tel. 32-755 19 17

- 1/2019 (237)
- 2/2019 (238)
- 3/2019 (239)
- 4/2019 (240)
- 5/2019 (241)
- 6/2019 (242)
- **7–8/2019 (243–244)**
- 9/2019 (245)
- 10/2019 (246)
- 11/2019 (247)
- 12/2019 (248)

PRENUMERATA

Prenumeratę miesięcznika „Napędy i Sterowanie” można rozpocząć w dowolnym momencie. Cena prenumeraty pozostaje bez zmian, niezależnie od zmiany stawki VAT na czasopismo. Faktura za prenumeratę zostanie przesłana wraz z pierwszym zamówionym egzemplarzem. Koszty przesyłki pokrywa Wydawnictwo. Studenci oraz uczniowie mogą skorzystać z 50-proc. zniżki, przesyłając kserokopię ważnej legitymacji szkolnej. Zniżka obejmuje również szkoły i wyższe uczelnie.

Cena prenumeraty rocznej wynosi 118,80 zł (w tym 8% VAT).

Wydawnictwo Druk-Art SC nr konta: 57 1560 1140 0000 9090 0004 0921

Wysyłając powyższy formularz, wyrażam zgodę na przetwarzanie moich danych osobowych zgodnie z ustawą z dn. 29.08.1997 r. o ochronie danych osobowych (Dz. U. nr 133, poz. 883).

Miesięcznik „Napędy i Sterowanie” można zaprenumerować, wykorzystując:
– druk zamówienia pobrany z naszej witryny internetowej, www.nis.com.pl/nis/prenumerata;
– pocztę elektroniczną, e-mail: prenumerata@drukart.pl.

lub za pośrednictwem:
– Wydawnictwa SIGMA NOT, tel./fax 22-840 35 89;
– RUCH SA, tel. 801 800 803 lub 22-693 70 00 (godz. 7^{00}–17^{00}) www.prenumerata.ruch.com.pl, prenumerata@ruch.com.pl;
– GARMOND PRESS SA, tel./fax 12-412 75 60;
– KOLPORTER SA, tel. 22-355 04 10.

Informacje na temat prenumeraty oraz numerów archiwalnych można uzyskać pod numerem tel./fax: 32-755 15 74.

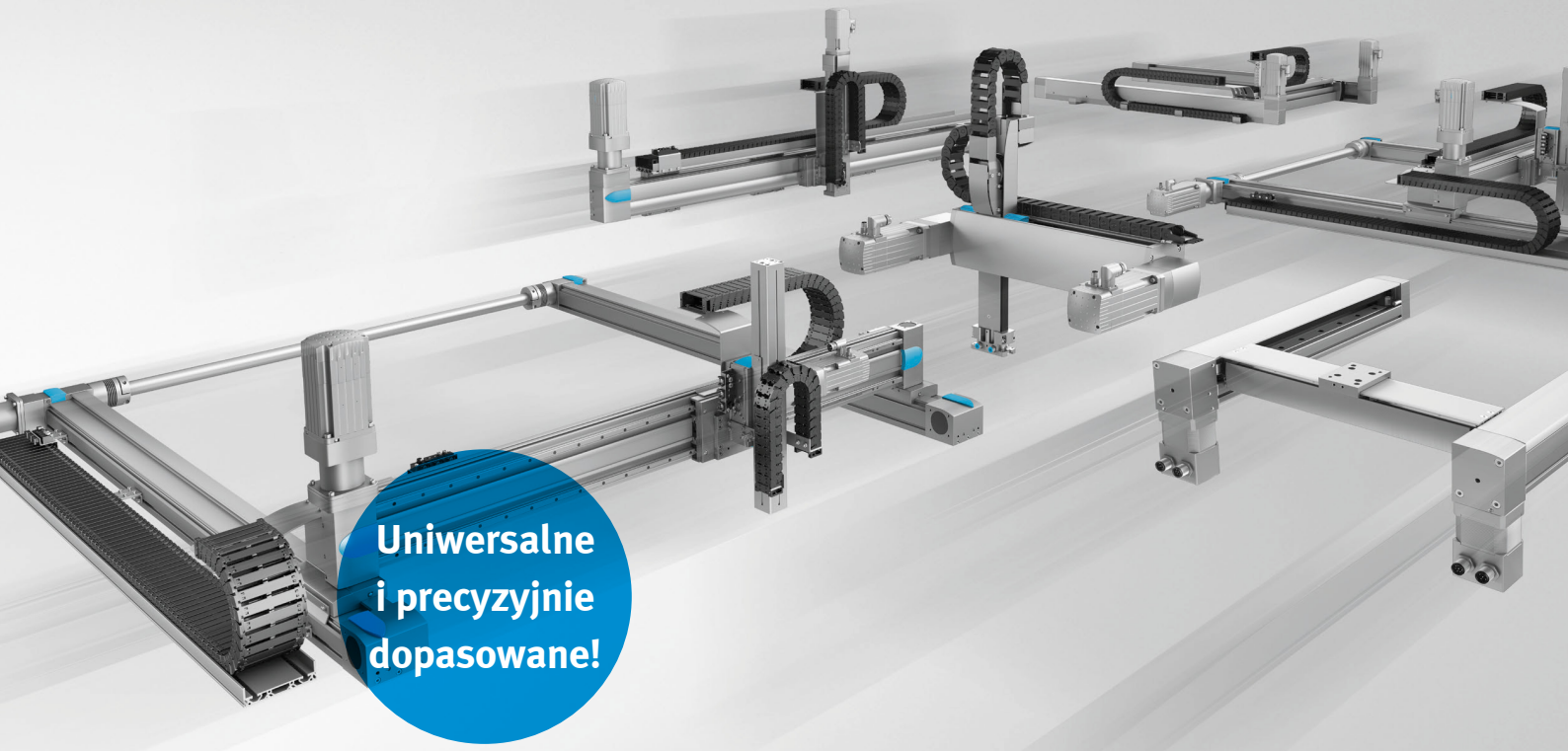
napędy i sterowanie
miesięcznik naukowo-techniczny

Postaw na rozwój

www.nis.com.pl

Systemy manipulacyjne i roboty kartezjańskie z Handling Guide Online

FESTO



Potrzebujesz kompletnych systemów? Oczekujesz niezawodnych rozwiązań? Oferujemy odpowiednią technologię i kompetencje.

→ WE ARE THE ENGINEERS OF PRODUCTIVITY.

Precyzyjnie dopasowane, ekonomiczne, dynamiczne i elastyczne: stwórz idealne rozwiązanie, korzystając z szerokiej gamy systemów manipulacyjnych i robotów kartezjańskich oferowanych przez Festo. Zmniejsz znacząco Twój nakład pracy: Handling Guide Online pozwala skonfigurować i zamówić idealny system manipulacyjny w zaledwie trzech krokach. Minimalizuje to wymagane prace inżynierskie. Otrzymasz system manipulacyjny w rekordowo krótkim czasie, w pełni zmontowany i przetestowany.

www.festo.com/handling