

Maciej Parafiniak

Elementy i układy pomiarowe w systemach mechatronicznych

Warszawa 2013



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Politechnika Warszawska
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych
Kierunek studiów "Edukacja techniczno informatyczna"
02-524 Warszawa, ul. Narbutta 84, tel. (22) 849 43 07, (22) 234 83 48
ipbmvr.simr.pw.edu.pl/spin/, e-mail: sto@simr.pw.edu.pl

Opiniodawca: dr inż. Zdzisław ROCHAŁA

Projekt okładki: Norbert SKUMIAŁ, Stefan TOMASZEK

Projekt układu graficznego tekstu: Grzegorz LINKIEWICZ

Skład tekstu: Janusz BONAROWSKI

Publikacja bezpłatna, przeznaczona dla studentów kierunku studiów
"Edukacja techniczno informatyczna"

Copyright © 2013 Politechnika Warszawska

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany
ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych,
kopiujących, nagrywających i innych bez pisemnej zgody posiadacza praw
autorskich.

Druk i oprawa: STUDIO MULTIGRAF SP. Z O.O.,
ul. Ołowiana 10, 85-461 Bydgoszcz

Spis treści

Wstęp.....	5
1. Czym jest mechatronika?	7
2. Układy pomiarowe w systemach mechatronicznych.....	13
3. Podstawy teorii pomiarów w systemach mechatronicznych.....	17
4. Elektryczne metody pomiaru wielkości nieelektrycznych.....	22
5. „Inteligentne” przetworniki pomiarowe w technologii MEMS.....	27
6. Podsumowanie	31
7. Literatura.....	33

Wstęp

Mechatronika coraz częściej wkracza w różne dziedziny życia codziennego. Termin mechatronika powstał prawdopodobnie w Japonii w latach 70. XX wieku, do określania nowej wiedzy i działalności inżynierskiej związanej z ekspansją robotów i automatów w procesach produkcyjnych. Pierwotnie rozumiana była jako uzupełnienie komponentów mechaniki precyzyjnej przez elektronikę, którego typowymi przedstawicielami były: robot przemysłowy i aparat fotograficzny-lustrzanka. Projektowane urządzenia techniczne o wysokim poziomie integracji stają się aktualnie produktami dominującymi na rynku sprzedaży (samochody, komputery, roboty, zautomatyzowane układy napędowe, sprzęt audiowizualny: kamery wideo, aparaty cyfrowe, odtwarzacze, magnetowidy, lekkie pojazdy elektryczne i hybrydowe, aparatura medyczna, zabawki elektroniczne. Układy mechatroniczne są obecne we wszystkich nowoczesnych wyrobach przemysłowych. Również pełnią ważną rolę na zautomatyzowanych liniach produkcyjnych zarówno w przemyśle samochodowym, jak i w przemyśle spożywczo-przetwórczym, w tym również coraz częściej w małych i średnich przedsiębiorstwach. Dotychczas obsługą tych urządzeń zajmował się inżynier mechanik, dziś, a zwłaszcza w przyszłości obok znajomości procesów, konieczna jest znajomość metod sterowania, programowania sterowników, łączenia funkcjonalnego i diagnostycznego maszyn i urządzeń. Bardzo szybko rozwijającym się aktualnie rynkiem pracy jest mechatronika układów, w które wyposażone są nowoczesne pojazdy.

Projektując nowe urządzenia mechatroniczne, niezbędna jest wiedza związana z systemami i układami pomiarowymi, które pełnią ważną rolę w systemach mechatronicznych.

Mechatronika odbierana jest jako synonim innowacyjności. Nie daje ona wprawdzie gotowej recepty na nowoczesne, konkurencyjne produkty, ale na pewno istotnie zwiększa prawdopodobieństwo sukcesu.

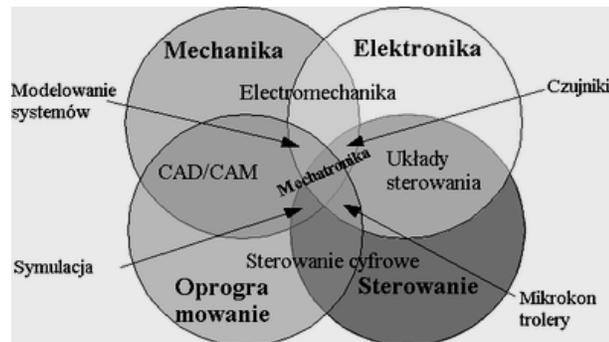
1

Czym jest mechatronika?

W tym rozdziale:

- Definicja
- Obszar zastosowań
- Robot ASIMO
- Robot AIBO

Mechatronika to synergiczne połączenie mechaniki precyzyjnej, układów sterujących i informatyki w celu projektowania, wytwarzania i eksploatacji inteligentnych systemów automatyki. Mechatronicy ukierunkowani są na projektowanie, konstrukcję, eksploatację oraz analizę złożonych urządzeń technicznych (składających się z elementów mechanicznych, elektronicznych, elektromagnetycznych, optoelektronicznych, pneumatycznych, hydraulicznych, sensorów itd.) o takim stopniu integracji funkcjonalnej i technologicznej, że ich oddzielne autonomiczne rozpatrywanie jest niemożliwe ze względu na interakcję i synergiczne powiązania poszczególnych podukładów. Na rys. 1.1 zamieszczono diagram mechatroniczny, na którym obrazowo przedstawiono połączenie mechaniki, elektroniki, oprogramowania, sterowania, stanowiące mechatronikę.



Rysunek 1.1 Diagram mechatroniczny

Mechatronika pokazuje jak integrować klasyczne urządzenia mechaniczne ze sterowaniami mikroprocesorowymi. Zajmuje się badaniem i rozwojem nowych zintegrowanych systemów mechaniczno-elektronicznych, które potrafią samodzielnie podejmować decyzje. Układ mechatroniczny za pomocą czujników jest w stanie odbierać ze swego otoczenia sygnały, przetwarzać je za pomocą mikroprocesora i na tej podstawie reagować za pomocą elementów wykonawczych, odpowiednio do sytuacji.

Nadrzędnym celem mechatroniki jest optymalne sterowanie ruchem urządzeń mechanicznych, a osiąga się ten cel przez fizyczne integrowanie mikroelektroniki z częściami mechanicznymi oraz poprzez podział urządzenia na moduły, które realizują funkcje częściowe.

Mechatronika jest często traktowana jako synonim robotyki. Zakresem obejmuje więcej niż produkty techniczne (np. komputery, telefony, kserokopiarki), wyposażenie wytwórcze (np. roboty, obrabiarki sterowane

numerycznie), zespoły i elementy (np. sensory, silniki elektryczne, monitory) [3].

Zakres zastosowania urządzeń mechatronicznych jest bardzo szeroki. Mechatronika daje się stosować w systemach o bardzo zróżnicowanych rozmiarach, od bardzo małych kamer optomechatronicznych do ogromnych mobilnych maszyn hydraulicznych.

Urządzenie mechatroniczne jest złożonym systemem zintegrowanym, zawierającym kilka podsystemów o zróżnicowanej naturze fizycznej. Oprócz działania mechanicznego jest on w stanie wyczuć swoją pozycję, porównywać ją z pozycją zadaną, a następnie w zależności od różnicy tych pozycji, ocenić sytuację i podjąć decyzję dotyczącą działania mechanicznego.

Obecnie mechatronika obejmuje następujące obszary zastosowań:

- roboty przemysłowe,
- układy sterowania pojazdami,
- nowoczesne zabawki,
- zaawansowany sprzęt gospodarstwa domowego,
- urządzenia automatyki,
- obrabiarki sterowane numerycznie,
- aparatura medyczna,
- technologie MEMS i MOEMS,
- obszary pomiarów w zakresie mikro i nano,
- nanotechnologia,
- optyka,
- informatyka.

Przykładem urządzenia mechatronicznego jest humanoid ASIMO, stworzony przez firmę Honda. Ten robot uważany jest za jeden z najbardziej rozwiniętych technicznie, chodzących robotów na świecie. Robot ASIMO po raz pierwszy został pokazany w 2000 roku. Został stworzony, aby mógł chodzić, zawracać, biegać, omijać przeszkody i wchodzić w interakcję z otoczeniem. Jego nazwa wywodzi się z angielskiego

Advanced Step in Innovative Mobility. Najmłodszy z braci ASIMO (rys. 1.2) posiada zaawansowane czujniki obrazu i głosu, pozwalające na rozpoznawanie ludzi, rzeczy i gestów, obliczanie odległości oraz kierunków ruchu kilku obiektów. Posiada on zdolność podchodzenia i chodzenia wraz z ludźmi, reagowania na instrukcje i poruszania się we wskazanym kierunku, rozpoznawania twarzy i głosów oraz zwracania się po imieniu.



Rysunek 1.2 Robot ASIMO



Rysunek 1.3 Robot AIBO

AIBO (rys. 1.3) to autonomiczny robot-zabawka wyprodukowany przez firmę Sony, wyglądem przypominający psa. Kolejne wersje AIBO, które zdobyły dużą popularność, są autonomiczne, odczuwają środowisko oraz są w stanie uczyć się, podobnie jak dojrzewający pies. Na początku roku 2006 koncern Sony ogłosił oficjalnie rezygnację z prac nad nowymi wersjami elektronicznego psa AIBO, oraz zaprzestanie jego sprzedaży, oraz przyznała jednocześnie, że zamierza kontynuować swoje badania nad kolejnymi projektami sztucznej inteligencji. W tabeli 1.1 zamieszczono podstawowe dane dotyczące robota AIBO.

Tabela 1.1 Dane dotyczące robota AIBO

CPU	64-bitowy procesor RISC
Sygnalizacja Diodami LED	Twarz: 24 diody LED Ucho: 2 trójkolorowe diody LED Status bezprzewodowy: 1 niebieska dioda LED Tylne czujnik: 16 diod LED
Ruchome części	Głowa: 3 stopnie swobody (DOF) Usta: 1 stopnie swobody (DOF) Noga: 3 x 4 nogi Ucho: 1 stopień swobody DOF x 2 uszu Tyl: 2 stopnie swobody (DOF) Całość: 20 stopnie swobody
Wejście obrazu	czujnik obrazu CMOS 350,000 CMOS
Wejście audio	Mikrofony stereo w uszach
Wyjście audio	Głośnik na klatce piersiowej
MIDI	64 akordów
Czujniki wewnętrzne	Czujnik odległości (w pysku i na klatce piersiowej) Czujnik dotyku na głowie, Czujniki dotyku w tyle Czujnik na podbródku, Czujniki na łapach Czujnik przyspieszenia, Czujnik drgań
Wbudowana bezprzewodowa sieć LAN	Standard : IEEE 802.11b/802.11 Szyfrowanie : Wep64/128 Zasięg : do 300 stóp
Czas działania	około 1,5 godziny
Ładowanie baterii	około 2 godziny
Wymiary i waga	Wymiary: 7.1" (szerokość) 10.9" (wysokość) 12.5" (głębokość) Waga: 3.5 lbs
Kolor	Perłowo-biały

Innym przykładem zastosowania mechatroniki jest projektor kina domowego. W swoich podstawowych elementach składa się on z:

- procesora służącego do wypracowania obrazów przy wykorzystaniu chwilowych składowych kolorystycznych i sterowania powierzchniami odbijającymi światło, z użyciem matryc lusterek – pojedynczych dla koła koloryzującego, lub kilku dla każdego z kolorów składowych,
- cyfrowego urządzenia mikrolustra zawierającego tysiące miniatury lusterek (poniżej 0,1 mm), o bardzo dużej prędkości działania (ok. kilku mikrosekund), które poprzez zmianę ustawień rozświetlają lub wygaszają składowe kolorystyczne punkty obrazu.
- oświetlacza, wysokosprawnego źródła światła, które po przejściu przez filtr lub koło koloryzujące tworzy barwne punkty obrazu,

ROZDZIAŁ 1

- obiektywu optycznego, zapewniającego projekcję utworzonego obrazu na ekran w formacie i w sposób zapewniający jego prawidłowość geometrii i barwy,
- systemu cichego chłodzenia, odprowadzającego nadmiar wytworzonego ciepła i zapewniający niezawodną i trwałą eksploatację urządzenia, a szczególnie światła,
- mikroprocesorowego sterownika, zarządzającego pracą i realizacją w określony sposób funkcji urządzenia.
- oprogramowania, programu opisującego pracę urządzenia i udostępniający jego funkcje użytkownikowi,
- urządzenia komunikacyjnego, pilota umożliwiającego wydawanie poleceń i zmianę nastaw projektora przez użytkownika,
- zasilacza i panelu przyłączy.

Projektując urządzenia mechatroniczne, należy pamiętać, że powinny charakteryzować się one wielofunkcyjnością, elastycznością, adaptacją do zmiennych warunków, a także prostą obsługą.

2

Układy pomiarowe w systemach mechatronicznych

W tym rozdziale:

- Systemy pomiarowe
- Mechatroniczne układy pomiarowe w pojazdach

ROZDZIAŁ 2

System pomiarowy to odpowiednio zorganizowany zestaw elementów stanowiących całość organizacyjną objętych wspólnym sterowaniem, przeznaczonych do wydobycia informacji z badanego obiektu i przekazania jej obserwatorowi w użytecznej formie.

Struktura i organizacja systemów pomiarowych zależne są od przeznaczenia, sposobu i szybkości przetwarzania informacji pomiarowej, sposobu oddziaływania systemu na obiekt lub proces.

Systemy pomiarowe możemy podzielić, ze względu na przeznaczenie, na badawcze, pomiarowo-kontrolne, pomiarowo-diagnostyczne.

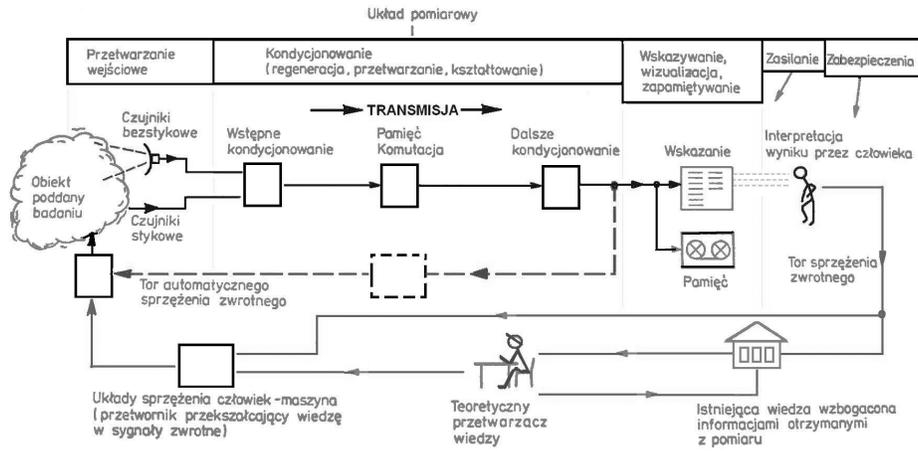
Przetwarzanie sygnałów służy do uzyskania, przekazania i wykorzystania informacji. W zależności od rodzaju przetwarzanych sygnałów rozróżnia się cztery typy przetwarzania:

- analogowe (A/A) – przetwarzanie sygnału analogowego na analogowy,
- analogowo-cyfrowe (A/C) – przetwarzanie sygnału analogowego na cyfrowy,
- cyfrowo – analogowe (C/A) – przetwarzanie sygnału cyfrowego na analogowy,
- cyfrowe (C/C) – przetwarzanie sygnału cyfrowego na cyfrowy.

Bardzo ważnym elementem systemu pomiarowego jest przetwornik, który wykorzystuje określone zjawisko fizyczne do przetwarzania jednego rodzaju energii w inną, spełniający zarówno funkcje pomiarowe i energetyczne. Nazwa stosowana jest też w stosunku do urządzeń przetwarzających określony czynnik, tzn. zmieniający jego postać.

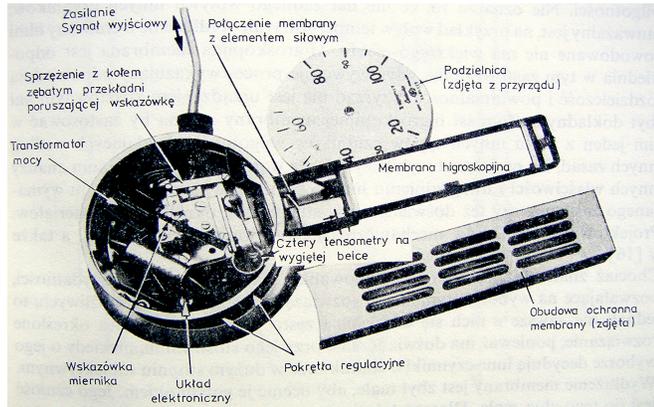
Na rys. 2.1 przedstawiono w sposób obrazowy układ pomiarowy w systemie sterowania obiektem.

Na rys. 2.2 przedstawiono budowę wewnętrzną urządzenia do pomiaru wilgotności względnej, a na rys. 2.3 jego schemat blokowy działania.

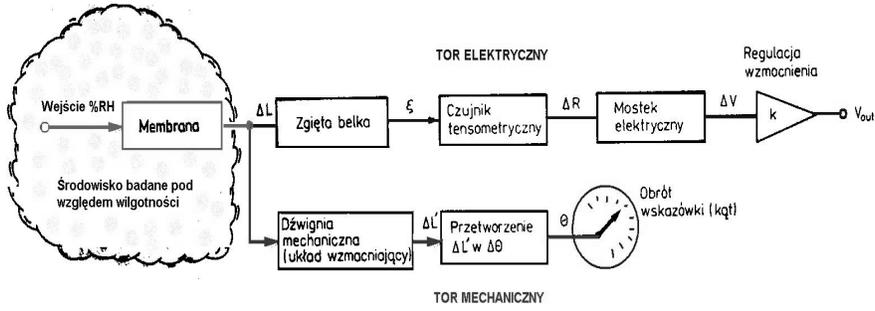


Schemat struktury układu pomiarowego w systemie sterowania obiektem

Rysunek 2.1 Schemat struktury układu pomiarowego w systemie sterowania obiektem



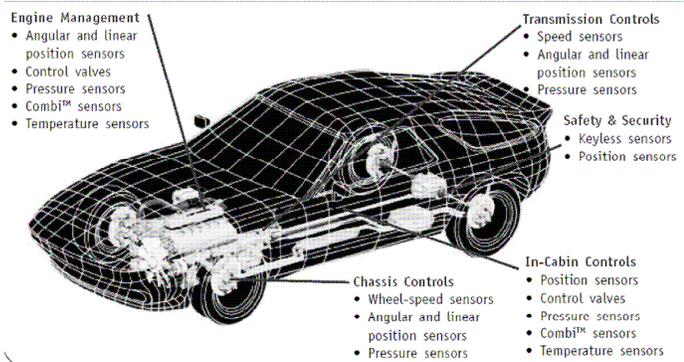
Rysunek 2.2 Widok wewnętrzny budowy urządzenia do pomiaru wilgotności względnej (Foster Cambridge LTD)



SCHEMAT BLOKOWY STRUKTURALNY DZIAŁANIA CZUJNIKA WILGOTNOŚCI

Rysunek 2.3 Schemat blokowy strukturalny działania czujnika wilgotności względnej (Foster Cambridge LTD)

Współcześnie pojazdy są wręcz naszpikowane urządzeniami mechatronicznymi. Na rys. 2.4 przedstawiono obszary zastosowania mechatroniki w samochodach, która obecna jest poprzez zastosowanie różnych systemów pomiarowych. Obecnie w samochodach, praca silnika jest sterowana i nadzorowana przez: czujniki położenia liniowego i kąтового, zawory sterujące, czujniki ciśnień, czujniki temperatury, czujniki wielofunkcyjne oraz czujniki przyspieszeń. Sterowanie i kontrola przeniesienia napędu nadzorowana jest przez czujniki prędkości, czujniki położenia liniowego i kąтового oraz czujniki ciśnień. Systemy bezpieczeństwa i ochrony posiadają czujniki dostępu, położenia oraz przyspieszeń, a w systemy kontroli w kabinie zawierają czujniki położenia, zawory sterujące, czujniki ciśnień, temperatury oraz czujniki wielofunkcyjne.



Rysunek 2.4 Zastosowanie urządzeń mechatronicznych w samochodzie

3

Podstawy teorii pomiarów w systemach mechatronicznych

W tym rozdziale:

- Układ SI
- Sensory

Prawa natury opisywane przez fizykę podawane są najczęściej w postaci związków matematycznych między wielkościami fizycznymi. Wyróżniamy wielkości podstawowe takie jak: długość, masa, czas, temperatura, natężenie prądu elektrycznego, natężenie źródła światła oraz pochodne, które można wyrazić za pomocą wielkości podstawowych. Każda wielkość fizyczna dana jest w postaci iloczynu składającego się z wartości liczbowej i jednostki. Do realizacji pomiarów niezbędny jest obok urządzeń pomiarowych, odpowiedni układ miar, określający jednostki dla wielkości podstawowych. Jednostki wielkości podstawowych można dzielić używając przedrostków: mili, centy, mikro itd. lub zwiększając używając mega, giga, terra itd. [4]. W przyjętym międzynarodowym układzie SI podstawowymi wielkościami są:

- jednostka długości - metr = 1 m;
- jednostka masy - kilogram = 1 kg;
- jednostka czasu - sekunda = 1 s;
- jednostka temperatury termodynamicznej - kelwin 1 K;
- jednostka natężenia prądu – amper = 1 A;
- jednostka światłości – kandela = 1 cd;

Pozostałe jednostki pochodne, ze względu na spójność przyjętego układu SI, nie wymagają użycia dodatkowych współczynników do obliczeń, i tak np.: jednostką prędkości liniowej jest 1m/s.

W ogólnym modelu systemu pomiarowego dowolny pomiar zostaje sprowadzony do jedno lub wieloetapowym przetwarzania sygnału wejściowego. Można wyróżnić następujący zbiór funkcji elementarnych, realizowanych w systemie pomiarowym:

- przetwarzanie natury fizycznej sygnału (sprowadzenie sygnału do postaci najwygodniejszej do dalszego przetwarzania, na ogół do postaci sygnału elektrycznego, napięciowego lub prądowego),
- przetwarzanie parametrów amplitudowych lub czasowych sygnału (przekształcenie sygnału z postaci analogowej na postać cyfrową),
- przetworzenie kodu cyfrowego na napięcie lub czas (wytworzenie właściwego środowiska pomiarowego),

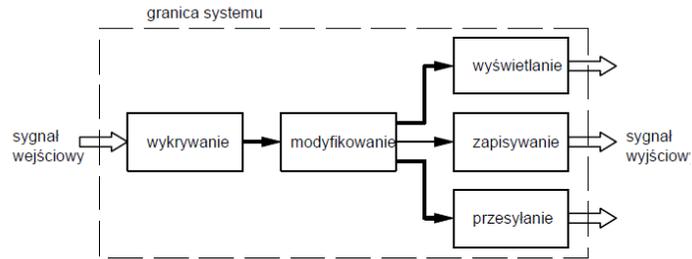
- przetwarzanie danych (przekształcenie kodu cyfrowego w oparciu o automaty o stałym algorytmie lub programy komputerowe),
- przetwarzanie struktury sygnału (dopasowanie bloków funkcjonalnych systemu np. w celu przesyłania danych przez złącze interfejsu),
- koordynacja czasowa i przestrzenna (sterowanie).

Sensory wykorzystywane w maszynach, odpowiadają zmysłom człowieka. Dostarczają informacji o stanie samej maszyny i jej otoczenia. Informacja o położeniu, temperaturze, sile, jeżeli daje się przetworzyć na sygnały elektryczne, daje się łatwo obrabiać przez mikroprocesor.

Czujniki w urządzeniach mechatronicznych mierzą wielkości sterowane, sterujące, zakłócające itp. Mogą to być pomiary bezpośrednie i pośrednie. Czujniki są niezbędne w obwodach sterowania ze sprzężeniem zwrotnym. Istota takich obwodów polega bowiem na obróbce sygnału, pochodzącego od czujnika, w celu uzyskania informacji potrzebnej do bezpośredniego sterowania układem mechanicznym.

Z systemem pomiarowym, jako systemem przetwarzania informacji, związane są takie pojęcia jak czujnik, przetwornik, sensor, aktor, procesor.

Podstawowe funkcje systemu pomiarowego, jako systemu przetwarzającego informacje, przedstawia rys. 3.1. Sygnałem wejściowym jest wielkość fizyczna, która ma być mierzona, np. przemieszczenie. Wielkość mierzona jest wykrywana lub wyczuwana przez obiekt, zwykle nazywamy przetwornikiem wejściowym lub sensorem. Sensor może być zdefiniowany jako czujnik pomiarowy, który odbiera wartości mechaniczne, chemiczne, termiczne. Następnie zebrane informacje przez sensor są przesyłane, modyfikowane, zapisywane i wyświetlane.



Rysunek 3.1 Podstawowe funkcje systemu pomiarowego

Sensory tworzą istotną część systemów przetwarzania informacji. Klasyfikuje się je w zależności od funkcji jaką wykonują, lub od ich zasady działania. Zwykłym kryterium klasyfikacji jest rodzaj energii, którą niesie sygnał (mechaniczna, cieplna, elektryczna, promieniowania itd.).

Parametry mechaniczne w urządzeniu mechatronicznym, takie jak położenie, prędkość i siła, mogą być mierzone za pomocą sensorów o różnych zasadach działania. Cechą wspólną tych sensorów musi być jednak przekształcenie sygnału mechanicznego w elektryczny i to najlepiej za pomocą mikrotechnologii układów scalonych. W porównaniu do sensorów klasycznych mamy tu do czynienia z mikroprocesorami.

Sensory przemieszczeń są używane szeroko tam, gdzie muszą być stworzone i utrzymane wymiary czy tolerancje w praktyce inżynierskiej. Zakres przemieszczeń może wymagać, np. użycia interferometru rentgenowskiego; przemieszczenia mikrometryczne mogą wymagać użycia interferometru laserowego; metrowe mogą wymagać krótkofalowych urządzeń mikrofalowych.

W mechatronicznych napędach szczególną rolę odgrywają sensory pozycji, mniejszą sensory prędkości i sensory obecności.

Sensory pozycji elementu wykonującego ruch obrotowy nazywane są czujnikami obrotu, czujnikami kąta, resolwerami czy enkoderami.

Sensory prędkości nazywane są zwykle prądnicami tachometrycznymi, tachogeneratorami czy tachometrami.

Czujniki obecności nazywane są zwykle wyłącznikami zbliżeniowymi czy magnetycznymi, a niekiedy sensorami binarnymi.

Pomiar przemieszczeń ma fundamentalne znaczenie dla urządzeń mechatronicznych. Przetworniki przemieszczeń są używane w wielu produktach życia codziennego. Zwykły wyłącznik może być przecież rozpatrywany jako prosty rodzaj sensora pozycji.

4

Elektryczne metody pomiaru wielkości nieelektrycznych

W tym rozdziale:

- Termopara, czujnik indukcyjny, tensometr-
podstawowe informacje

Zmiana mierzonej wielkości nieelektrycznej w wielkość elektryczną następuje w przetworniku pomiarowym [5]. Przetworniki można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- przetworniki parametryczne,
- przetworniki generacyjne.

W przetwornikach parametrycznych mierzona wielkość nieelektryczna powoduje zmianę parametru elektrycznego tj. np. rezystancji, indukcyjności, pojemności lub częstotliwości. W przetwornikach generacyjnych zmiana mierzonej wielkości nieelektrycznej powoduje powstanie stałej lub zmiennej siły elektromotorycznej. Taki przetwornik jest źródłem prądu elektrycznego.

Jako klasyczne elementy pomiarowe w miernictwie wielkości nieelektrycznych stosuje się przy przetwornikach biernych, układy mostkowe lub kompensacyjne (różnicowe), a przy generacyjnych galwanometry lub multiwoltomierze o dużej rezystancji wewnętrznej.

Metodami elektrycznymi możemy zmierzyć między innymi:

- ciśnienie,
- siły i momenty sił,
- temperaturę,
- prędkości i przyspieszenia,
- odkształcenia,
- wymiary geometryczne,

Wyróżnia się następujące metody pomiaru:

- pomiary tensometryczne,
- transformatory położenia,
- analizy obrazu.

Wielkości nieelektryczne można mierzyć za pomocą wielu sposobów. Bazują one na jednym założeniu: należy zamienić mierzoną wartość na postać elektryczną, taką jak napięcie, rezystancję, pojemność czy indukcyjność. Po zamianie odpowiedni układ odczytuje uzyskany wynik, a następnie o ile jest taka konieczność dodatkowo go koryguje.

ROZDZIAŁ 4

Pomiary elektryczne charakteryzują się dużą dokładnością pomiaru oraz możliwością automatycznego uwzględniania poprawek w czasie wykonywania pomiaru, dużą czułością pomiaru, krótkim czasem potrzebnym do wykonywania pomiaru.

Do pomiarów temperatury i wielkości z nią związanych służą przetworniki termometryczne. Dzielą się one na dwie grupy:

- przetworniki rezystancyjne metalowe i półprzewodnikowe (termistory),
- przetworniki ogniwa termoelektryczne (termopary).

Przewaga czujników termistorowych nad rezystancyjnymi polega na znacznie większym temperaturowym współczynniku rezystancji i małych rozmiarach umożliwiających prawie punktowy pomiar. Wytwarza się je przeważnie z tlenków, siarczków lub krzemianów metali.

Termopary (rys. 4.1) odznaczają się dużą dokładnością i elastycznością konstrukcji, co pozwala na ich zastosowanie w różnych warunkach.



Rysunek 4.1 Przykładowe termopary

Wadą jest mechaniczna nietrwałość złącza pomiarowego i możliwość przepływu prądu poza obwodem termopary, gdy złącze nie jest izolowane. Izolacja złącza eliminuje ten efekt, ale wydłuża czas reakcji termopary na zmianę temperatury. Dlatego w pomiarach o dużej dynamice zmian stosuje się termopary bez osłony. Termopara składa się z pary różnych metali zwykle w postaci przewodów, spojenych na dwóch końcach. Jedno złącze umieszczane jest w miejscu pomiaru, podczas gdy drugie utrzymywane jest w stałej temperaturze odniesienia.

Pod wpływem różnicy temperatury między miejscami złączy powstaje różnica potencjałów, zwana w tym przypadku termoelektryczną, proporcjonalna do różnicy temperatur. Spoina pomiarowa może znajdować się w obudowie o dużym przewodnictwie cieplnym. Instaluje się ją w miejscu pomiaru temperatury. Złącze odniesienia może być umieszczane w ściśle określonej temperaturze odniesienia, np. topniącym lodzie. Złącze to może nie być złączem bezpośrednim, a zamknięcie obwodu odbywa się poprzez zaciski miernika.

Czujniki indukcyjne (rys. 4.2) stosuje się do pomiaru przesunięcia. W czujniku tym przesunięcie części ruchomej czujnika powoduje zmianę jego indukcyjności. Podstawowe jego elementy to: cewka z rdzeniem i ruchoma zwora, od której zależy opór magnetyczny układu. Podstawowy czujnik indukcyjny zasilany jest prądem zmiennym. Stosuje się je do pomiarów małych odległości np.: $\pm 50 \mu\text{m}$, w przypadku pomiarów grubości materiałów ferromagnetycznych, aż do kilkudziesięciu [cm] do pomiaru przesunięć mechanicznych np.: ruchu tłoka w pompach, silnikach czy ruchu listwy paliwowej w silnikach wysokoprężnych.



Rysunek 4.2 Czujnik indukcyjny HBM

Do pomiaru wielkości nieelektrycznych (np. siły, ciśnienia, przyspieszenia czy masy) wykorzystuje się tensometry (rys. 4.3). Tensometr to czujnik służący do pomiaru naprężenia. W praktyce pomiar tensometryczny polega na pomiarze odkształcenia i obliczaniu naprężenia w oparciu o przyjęty związek fizyczny. Najczęściej stosowanym rodzajem tensometrów są tensometry oporowe, zmieniające swoją rezystancję wraz ze zmianą wymiarów. Ze względu na budowę rozróżnia się tensometry oporowe: wężykowe, zygzakowe, kratowe, foliowe, półprzewodnikowe.



Rysunek 4.3 Przykładowe tensometry

Pomiar prędkości obrotowej może odbywać się metodą bezpośrednią i optyczną. W metodzie bezpośredniej konieczne jest mechaniczne połączenie elementu pomiarowego z obiektem badanym. Elementami pomiarowymi są, w tym zastosowaniu, elementy elektromaszynowe automatyki: prądnice prądu stałego i prądu zmiennego, czujniki impulsowe magnetyczne i optyczne. Wyznaczenie prędkości obrotowej ma na celu określenie wartości liczbowych prędkości obrotowych. W układach elektrycznych napędowych oraz w układach z silnikami spalinowymi prądnice tachometryczne są elementami sprzężenia zwrotnego i służą do stabilizacji zadanej prędkości obrotowej.

Najważniejsze zalety pomiarów wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi:

- możliwość rejestrowania wartości mierzonych, przeprowadzania pomiarów zdalnych w miejscach odległych, niedostępnych i niebezpiecznych
- łatwość automatyzacji pomiarów i przetwarzania danych pomiarowych,
- duża czułość, szybkość i dokładność pomiarów,
- szeroki zakres w dziedzinie wartości wielkości mierzonych i częstotliwości,
- możliwość łatwego zastosowania w obwodach regulacji automatycznej,
- stosunkowo prostota pomiarów, możliwość unifikacji urządzeń.

5

„Inteligentne” przetworniki pomiarowe w technologii MEMS

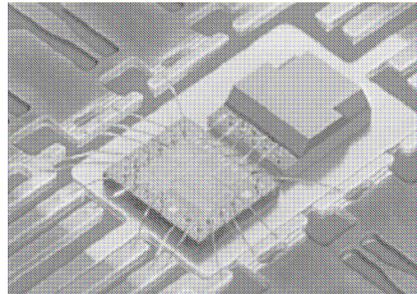
W tym rozdziale:

- Przykłady „inteligentnych” przetworników

W latach 80. ubiegłego wieku po raz pierwszy użyto określenia „inteligentny” czujnik, który integrował czujniki półprzewodnikowe i obwody mikroelektroniczne w ramach jednej zwartej konstrukcji. Jedna z powszechnie uznawanych definicji mówi, że każdy sensor ze zintegrowanym układem elektronicznym jest inteligentny.

W technice pomiarowej zauważalny jest trend miniaturyzacji czujników, który w ramach rozwiązań półprzewodnikowych, wiąże się z stosowaniem mikrostruktur krzemowych nazywanych w literaturze MST (Micro System Technology) albo MEMS (Micro-Electrical-Mechanical Systems) [6]. Historia czujników zintegrowanych sięga końca lat 60. ubiegłego wieku i z początku dotyczyła opracowanej przez firmę Honeywell metody produkcji piezorezystancyjnych krzemowych struktur czujników ciśnienia. Pierwszy zintegrowany czujnik ciśnienia z cyfrowym wyjściem został skonstruowany i przetestowany w 1971r. [1]. Konstruktorzy zamierzali wykorzystać ten układ do zastosowań medycznych, ale pierwsze zastosowanie znalazł w przemyśle lotniczym, gdzie służył do pomiarów ciśnienia w samolotach firmy Douglas.

Czujnik inteligentny to zintegrowany układ potrafiący, bez żadnych dodatkowych elementów, zapewnić pomiar, obróbkę sygnału, komunikację z innymi urządzeniami oraz posiadający funkcje logiczne świadczące o jego autonomiczności. Większość zadań wymaga wbudowania w jednym układzie wielu mikroczytników oraz co najmniej jednego mikrokontrolera lub mikroprocesora. Takie układy nazywane są często inteligentnymi systemami pomiarowymi.



Rysunek 5.1 Akcelerometr wykonany w technologii MEMS (z prawej czujnik, po lewej kontroler)

Podstawowa skłonność w technologii wymaga produkcji masowej przy zachowaniu niskich kosztów produkcji, jednocześnie zmusza do opracowania metod łączenia w układach elektronicznych, materiałów o róż-

nych właściwościach, nie tylko krzemu i metalu, ale coraz częściej ceramiki, plastiku, a nawet substancji biochemicznych.

Do produkcji czujników wykorzystuje się m.in. technologie, takie jak [2]:

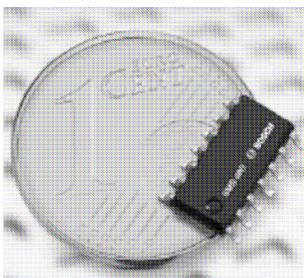
- proces fotolitografii,
- technologia objętościowa,
- osadzanie powłok,
- trawienie za pomocą substancji chemicznych,
- domieszkowanie z wykorzystaniem dyfuzji.

W porównaniu z klasycznymi rozwiązaniami przetworniki inteligentne potrafią realizować następujące zadania:

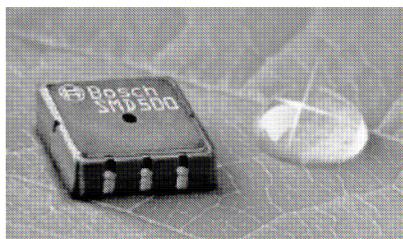
- linearyzacja charakterystyk przetwarzania,
- detekcja błędów i diagnostyka,
- dwustronne komunikowanie się z innymi urządzeniami w sieci,
- autotest i autokalibracja,
- rejestracja i analiza danych pomiarowych
- zdolność uczenia się i samodzielnego podejmowania decyzji

Czujnik SMB-48x/49x firmy Bosch (rys. 5.2) został zaprojektowany dla przemysłu motoryzacyjnego do pomiarów zdarzeń w czasie kolizji. Wraz z innymi czujnikami odpowiedzialny jest za dostosowanie systemów bezpieczeństwa do zaistniałego zdarzenia (naciąg pasów bezpieczeństwa, zadziałanie poduszek powietrznych). Zakres pomiarowy jest do 480g oraz komunikacja wykorzystująca standard PS15 (m.in. możliwość synchronicznego/asynchronicznego przesyłania danych w ramach jednej linii dwuprzewodowej z prędkością do 125 kbs).

Na rys. 5.3 przedstawiono najmniejszy na świecie czujnik ciśnienia SMD 500, a w tabeli 5.1 zamieszczone jego podstawowe informacje.



Rysunek 5.2 czujnik dużych przyspieszeń firmy BOSCH



Rysunek 5.3 SMD500 najmniejszy na świecie cyfrowy czujnik ciśnienia

Tabela 5.1 Podstawowe informacje czujnika SMD 500

Właściwości SMD500	
Pomiar	Ciśnienie absolutne, temperatura otoczenia
Zakres ciśnienia	300 ... 1100 hPa (+9000 m ... -500 m nad poziomem morza)
Rozdzielczość	0.05 hPa (0.4m) tryb standard, 0.03 hPa (0.2m) tryb wysokiej rozdzielczości
Dokładność	+/- 2.5 hPa maksimum, +/- 0.7 hPa typowo dla pełnego zakresu ciśnień i zakresu temperatury -20 .. +60 °C
Pobór mocy	5 µA średnio @ 1Hz odświeżania (10µA tryb wys. rozdz.), 0.1 µA czuwanie
Czas przetwarzania	34 ms @ 32768Hz (CLK) dla ciśnienia
Temperatura pracy	-40°C ... +85°C
Obudowa	LCC8 (5 x 5 x 1.6 mm ³), RoHS kompatybilne, Pb free
Interfejs	I ² C
Próba nadciśnienia	5000 hPa

6

Podsumowanie

W tym rozdziale:

- Przykłady „inteligentnych” przetworników

Układy mechatroniczne są obecne we wszystkich nowoczesnych wyrobach przemysłowych. Również pełnią ważną rolę na zautomatyzowanych liniach produkcyjnych zarówno w przemyśle samochodowym, jak i w przemyśle spożywczo-przetwórczym, w tym również coraz częściej w małych i średnich przedsiębiorstwach. Dotychczas obsługą tych urządzeń zajmował się inżynier mechanik, dziś, a zwłaszcza w przyszłości obok znajomości procesów, konieczna jest znajomość metod sterowania, programowania sterowników, łączenia funkcjonalnego i diagnostycznego maszyn i urządzeń. Bardzo szybko rozwijającym się aktualnie rynkiem pracy jest mechatronika układów, w które wyposażone są nowoczesne pojazdy.

Projektując nowe urządzenia mechatroniczne, niezbędna jest wiedza związana z systemami i układami pomiarowymi, które pełnią ważną rolę w systemach mechatronicznych.

Czujniki inteligentne są szybko rozwijającą się dziedziną badań i znajdują powszechne zastosowanie w medycynie, lotnictwie, przemyśle. Technologia MEMS umożliwia miniaturyzację czujników, zachowując jednocześnie wysoką funkcjonalność, dzięki integracji z układami mikroelektronicznymi. Dodatkową zaletą jest odciążenie przyszłych użytkowników od konieczności zestawiania poszczególnych elementów systemu pomiarowego „na własną rękę”. Dzięki temu zmniejsza się czas potrzeby do zaprojektowania, uruchomienia i ewentualnego serwisowania systemu.



Literatura

1. E. M. Blaser, W. H. Ko, E. T. Yon: "A Miniature Digital Pressure Transducer", 24th Annual Conference on Engineering in Medicine and Biology, Las Vegas, 1971.
2. J. W. Gardner, Y.K. Varadan, O.O. Awadelkarim, „Microsensors, mems and smart devices.Wiley & Sons”, Chichester, 2001.
3. M. Gawrysiak, „Mechatronika i projektowanie mechatroniczne - wprowadzenie”, Białystok, 1997.
4. W. Jakubiec, J. Malinowski, „Metrologia wielkości geometrycznych”, WNT, 2004.
5. A. Kowalczyk, „Miernictwo elektryczne wielkości nieelektrycznych”, Rzeszów, 1997.
6. N. Maluf., „An introduction to microelectromechanical systems engineering”, Artach House, Boston, 2000.