



WOJCIECH ŻYLKA<sup>1</sup>, MARTA ŻYLKA<sup>2</sup>, ZYGMUNT SZCZERBA<sup>3</sup>

## Czujniki w praktyce kształcenia inżynierskiego

### Sensors in Engineering Practice

<sup>1</sup> Doktor inżynier, Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Katedra Mechatroniki i Automatyki, Polska

<sup>2</sup> Magister inżynier, Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Zakład Mechaniki Płynów i Aerodynamiki, Polska

<sup>3</sup> Doktor inżynier, Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Zakład Mechaniki Płynów i Aerodynamiki, Polska

#### Streszczenie

W artykule przedstawiono budowę oraz zasadę działania czujników. Ponadto opisano przykładowe pomiary z wykorzystaniem czujników prowadzone przez studentów Politechniki Rzeszowskiej oraz Uniwersytetu Rzeszowskiego.

**Słowa kluczowe:** czujnik indukcyjny, czujnik pojemnościowy

#### Abstract

The article presents the construction and principle of operation of sensors. Also described are exemplary measurements using sensors conducted by students of the Rzeszów University of Technology and the University of Rzeszow.

**Keywords:** inductive sensor, capacitive sensor

#### Wstęp

Wszeghobecne czujniki pomiarowe to „receptory zmysłów” obecnej techniki, ale też i bezpośrednio człowieka w ocenie/pomiarze wielkości fizycznych świata nas otaczającego. Popularna w nazwie „sensoryka”, czyli część metrologii zajmująca się przetwarzaniem tych wielkości na dogodne dla nas i urządzeń współpracujących, stanowi podstawowy filar funkcjonowania obecnego świata. Można określić, iż czujniki łączą wszystkie dyscypliny naszej działalności, dając możliwość ich funkcjonowania. Czujnik pomiarowy w istocie to pierwszy element toru pomiarowego, najczęściej składający się z kilku przetworników – co najmniej z dwóch. Zwykle od pierwszego przetwornika/metody przetwarzania sygnału czujnik przyjmuje nazwę własną całości. Pierwsza jest cewka, więc

będzie to indukcyjny, kondensator – więc pojemnościowy, tensometr – więc tensometryczny, zjawisko piezorezystywne – więc piezorezystywny itd. Bez znajomości przetwarzania wielkości fizycznych nie miałyby zastosowania wszystkie w zasadzie dyscypliny, w tym szczególnie automatyka, automatyzacja. Ostatnie lata to bardzo ekspansywny rozwój metrologii przetwornikowej dzięki rozwojowi szczególnie mikroelektroniki. Gros najnowszych rozwiązań w tym zakresie to technologia oparta na krzemie, bardzo często nazywana mikromechaniczną, tzw. MEMS. To wcale nie oznacza, że technologie pierwotne poszły w zapomnienie, niektóre z nich są wręcz niezastąpione z wielu powodów (Szumilewicz, Stryburski, Słomski, 2002).

Studenci studiów inżynierskich w ramach zajęć programowych mają możliwość zapoznania się definicją i klasyfikacją czujników oraz ich rolą w miernictwie, układach automatyki czy systemach mechatronicznych. Uzyskują wiedzę z zakresu zjawisk fizycznych wykorzystywanych do pomiaru wielkości kinematycznych i dynamicznych. W artykule przedstawiono badania polegające na obserwacji działania czujnika indukcyjnego i pojemnościowego obecności – binarnego dla wybranych materiałów, w wersji bezkontaktowej.

### **Podział czujników**

Jak dużo jest wielkości fizycznych, tak dużo, a właściwie kilkakrotnie więcej jest czujników pomiarowych. Dlaczego więcej? Ponieważ określoną jedną wielkość fizyczną można mierzyć różnymi metodami przetwarzania. Na przykład temperaturę można przetwarzać metodą parametryczną mechaniczną: dylatacja, zmiana rezystancji metalu, poziom emisyjności-optyczne itd. Dlatego też podziałów literaturowych jest ogromnie dużo.

Do najważniejszych podziałów, klasyfikacji czujników należy podział ze względu na sposób przetwarzania sygnałów fizycznych, czyli na mechaniczne, a w tym sprężyste, sejsmiczne, dylatacyjne, hydrostatyczne.

Druga grupa to elektryczne, w tym generacyjne i parametryczne. Jest to pierwotny podział najbardziej oczywisty. Wszelkich innych można dokonywać w nieskończoność ze względu na różne cechy, np. technologię otrzymywania. Na przykład pomiaru ciśnienia można dokonać metodami mechanicznymi – mieszek jako element sprężysty i jego deformacja. Można tę deformację zmierzyć metodą indukcyjną, pojemnościową, tensometryczną, optyczną bądź w technologii krzemowej MEMS itd. Jak widać, tyle podziałów można by uzyskać, a zasada jest jedna – zmiana parametrów przetwornika wejściowego. Czyli najważniejsze cechy to „parametryczny/tensometryczny” czy indukcyjny itd.

Wiedza o metodzie przetwarzania jest tu bardzo istotna, ponieważ ona warunkuje cechy danego czujnika. W zależności od metody przetwarzania dobiera się czujnik do charakteru zmienności mierzonego sygnału. Dlatego w procesie dydaktycznym bardzo istotne jest poznanie zasad fizyki przetwarzania. Bez tej wiedzy bardzo łatwo o błąd metodyczny doboru czujnika do obiektu. Szczegół-

ny przypadek w tym podziale stanowią metody optyczne pomiaru bazujące na półprzewodnikowych strukturach – element emitujący światło, czyli LED, oraz światłoczuły element – fototranzystor. Bardziej rozwinięte układy bazują na matrycach światłoczułych, tworząc metody wizyjne pomiaru. Bardzo często producenci nadużywają nazewnictwa, wyznaczając nowe podziały, np. laserowy czujnik ciśnienia, a w istocie pierwszym przetwornikiem jest tu przetwornik mechaniczny sprężysty. Przetwornik membrana zmienia swój kształt w zależności od różnicy ciśnień, laser wraz z interferometrem pełni rolę pomiaru tej deformacji.

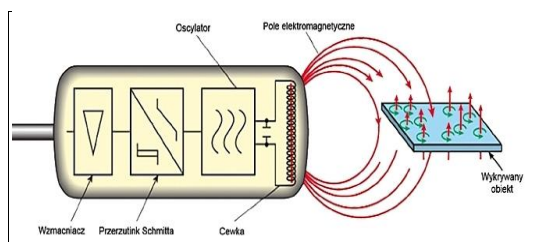
### Zbliżeniowe czujniki indukcyjne

Czujniki indukcyjne wykorzystują zjawisko zmiany natężenia pola magnetycznego wewnątrz uzwojenia spowodowane zmianą indukcyjności cewki czujnika wskutek skupienia lub rozproszenia pola magnetycznego wytworzonego przez cewkę czujnika. Warunkowane jest to rodzajem materiału rozpoznawalnego przez czujnik. Układ elektryczny czujnika indukcyjnego może być prosty lub różnicowy. Czujniki te służą do wykrywania obecności przedmiotów metalicznych. Należą do podstawowych elementów wielu systemów automatyki oraz w urządzeniach do czynnej kontroli, gdy wymagane są częste zmiany zakresu pomiarowego.



Rysunek 1. Czujnik indukcyjny

Źródło: <http://www.automatyka-tombit.pl/automatyka-przemyslowa/czujniki/125-czujnik-indukcyjny-lm18-3008nc.html>.



Rysunek 2. Budowa i zasada działania czujnika indukcyjnego

Źródło: [http://ep.com.pl/artykuly/10319-Czujniki\\_indukcyjne\\_i\\_pojemnoscowe\\_w\\_praktyce\\_inzynierskiej.html](http://ep.com.pl/artykuly/10319-Czujniki_indukcyjne_i_pojemnoscowe_w_praktyce_inzynierskiej.html)

Czujniki z tej grupy w wykonaniu specjalnym mogą reagować np. na metale miękkie rozpraszające pole magnetyczne, jak aluminium, brąz itd., lub metale skupiające pole magnetyczne. Jednym słowem – mogą być selektywne.

Czujnik indukcyjny monitoruje zmiany pola magnetycznego występujące na skutek pojawienia się obiektu metalicznego w pobliżu czoła sensora. Zasięg działania, czyli tzw. strefa robocza, jest zależny od wielkości zastosowanego elementu detekcyjnego, którym jest cewka, i zazwyczaj jest proporcjonalny do wymiarów, a konkretnie do długości czujnika. Jest to podstawowy parametr każdego czujnika tego typu. W zależności od budowy czoła i średnicy czujnika wynosi ona do kilku centymetrów ([http://ep.com.pl/artykuly/10319-Czujniki\\_indukcyjne\\_i\\_pojemnosciowe\\_w\\_praktyce\\_inzynierskiej.html](http://ep.com.pl/artykuly/10319-Czujniki_indukcyjne_i_pojemnosciowe_w_praktyce_inzynierskiej.html)). Metoda indukcyjna pomiaru, jaka występuje w tych czujnikach, należy do najstarszych, jeśli chodzi o przetworniki elektryczne. Są stosunkowo duże i drogie w relacji np. do czujników optycznych. Ze względu na swoje zalety, w tym także wysoką odporność na warunki zewnętrzne, jak zabrudzenie środowiska pomiarowego, wysoką temperaturę itd. Są w wielu sytuacjach obiektowych niezastąpione. Dotyczy to szczególnie warunków przemysłowych dla układów pracujących w warunkach otwartym wielosezonowo.

### **Zbliżeniowe czujniki pojemnościowe**

W czujnikach pojemnościowych bezkontaktowych wykorzystuje się zasadę działania kondensatora, gdzie jedna okładzina to część czoła czujnika, a druga to element rozpoznawalny. Umożliwiają one detekcję obiektów kryjących się pod powierzchnią, np. za ścianą, w zbiorniku zasobowym, kontenerze lub za osłoną. Wykorzystywane są również do kontroli poziomu napełnienia i zasilania mediami. Niezawodnie rejestrują stany w procesach produkcji i podczas kontroli końcowych (Cyran, 1996). Reagują praktycznie na wszystko.



**Rysunek 3. Pojemnościowe czujniki zbliżeniowe**

Źródło: [www.sick.com/pl/pl/produkty/czujniki-zblizeniowe/pojemnosciowe-czujniki-zblizeniowe/c/g201659](http://www.sick.com/pl/pl/produkty/czujniki-zblizeniowe/pojemnosciowe-czujniki-zblizeniowe/c/g201659).

Zasada działania czujników indukcyjnych i pojemnościowych jest podobna. W obu typach można wyróżnić aktywne czoło czujnika, wokół którego wytwarzane jest odpowiednio przestrzennie ukształtowane zmienne pole magnetyczne (dla czujników indukcyjnych) lub elektryczne dla czujników pojemnościowych. Pola te wytwarzane są przez specjalne oscylatory LC lub RC (w zależności od typu), których odpowiednie elementy (rdzeń ferrytowy z uzwojeniami lub kondensator) tworzą aktywne czoło czujnika. Wprowadzenie bezdotykowe w obszar

pola magnetycznego przedmiotu metalowego, a w przypadku pola elektrycznego dowolnego materiału powoduje zmianę warunków generacji oscylatorów LC lub RC. W obu przypadkach zmiana ta oznacza spadek amplitudy sygnału wyjściowego oscylatora. Zmianę tę wykrywa układ detektora, a odpowiedni układ progowy zamienia ją na sygnał dwustanowy z histerezą. Wzmacniacz wyjściowy umożliwia sterowanie przekaźnikami i stycznikami (Cyran, 1996).

### Część badawcza

Do badań wykorzystano czujniki indukcyjne Ni 30-K40SR-VN4X2, Ni 12U-EG18SK-VN4X oraz czujniki pojemnościowe KDC 18 K 15P SLK.

#### *Czujnik indukcyjny Ni 30-K40SR-VN4X2, 12U-EG18SK-VN4X*

Badania prowadzono na 4 materiałach: żelazie, aluminium, srebro i drewnie. Mierzono histerezę oraz oceniano dystans detekcji dla poszczególnych materiałów (tab. 1).

**Tabela 1. Pomiary indukcyjnym czujnikiem Ni 30-K40SR-VN4X2**

| Materiał pomiarowy | Dystans detekcji [mm] | Zwolnienie detekcji [mm] | Histereza [mm] |
|--------------------|-----------------------|--------------------------|----------------|
| Żelazo             | 28                    | 25                       | 3              |
| Aluminium          | 15                    | 14                       | 1              |
| Srebro             | 12                    | 10                       | 2              |
| Drewno             | —                     | —                        | —              |

Źródło: badanie własne.

Następnie powtórzono badania dla tych samych materiałów z użyciem czujnika indukcyjnego Ni 12U-EG18SK-VN4X.

**Tabela 2. Pomiary indukcyjnym czujnikiem Ni 12U-EG18SK-VN4X**

| Materiał pomiarowy | Dystans detekcji [mm] | Zwolnienie detekcji [mm] | Histereza [mm] |
|--------------------|-----------------------|--------------------------|----------------|
| Żelazo             | 11                    | 9                        | 2              |
| Aluminium          | 13                    | 11                       | 2              |
| Srebro             | 5                     | 3                        | 2              |
| Drewno             | —                     | —                        | —              |

Źródło: badanie własne.

W wyniku pomiaru zauważono zmianę obszaru detekcji oraz histerezy dla dwóch typów czujników. Czujniki indukcyjne nie reagowały na materiał niemetaliczny. Bez wątpienia pierwszy jest bardziej wrażliwy na metale magnetyczne, natomiast drugi większą wrażliwość wykazuje dla metali niemagnetycznych.

#### *Czujnik pojemnościowy KDC 18 K 15P SLK*

Badania prowadzono na 7 materiałach: żelazie, aluminium i srebro, plastiku, drewnie, szkłe i papierze. Mierzono histerezę oraz oceniano dystans detekcji dla poszczególnych materiałów (tab. 3).

**Tabela 3. Pomiar czujnikiem pojemnościowym KDC 18 K 15P SLK**

| <b>Materiał pomiarowy</b> | <b>Dystans detekcji [mm]</b> | <b>Zwolnienie detekcji [mm]</b> | <b>Histereza [mm]</b> |
|---------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Żelazo                    | 23                           | 21                              | 2                     |
| Aluminium                 | 23                           | 21                              | 2                     |
| Srebro                    | 7                            | 5                               | 2                     |
| Plastik                   | 23                           | 19                              | 4                     |
| Drewno                    | 19                           | 15                              | 4                     |
| Szkło                     | 16                           | 11                              | 5                     |
| Papier                    | 6                            | 4                               | 2                     |

Źródło: badanie własne.

Odnotowano histerezę 2 mm dla żelaza, aluminium, srebra oraz papieru. Największa wartość histerezy wyniosła 5 mm dla szkła.

### **Podsumowanie**

Z przeprowadzonych badań wynika, że czujniki indukcyjne reagują wyłącznie na przedmioty metalowe. Badaniu zostały poddane czujniki tzw. obecności, czyli binarne. Obszar rozpoznawania zależy od materiału i aplikacji wewnętrznej czujnika. Czujnik pojemnościowy ma przewagę nad czujnikiem indukcyjnym. Pozwala wykryć takie materiały, jak plastik, szkło. Ponadto umożliwia detekcję napełnienia zbiornika cieczą. Cecha czujnika pojemnościowego reagowania niemalże na wszystkie materiały w zastosowaniach jest dość kłopotliwa, powstają problemy montażowe. Należy tu zauważyć, że czujniki te można regulować układowo: zmieniając parametry mostka wejściowego w czujniku wpływać na zdolności reagowania, czyli regulować strefę rozpoznawania oraz czułość i histerezę. Zmiana czułości skutkuje ograniczeniem rozpoznawanych typów czy gabarytów określonych materiałów.

### **Literatura**

- Bąk, J. (1989). *Mała encyklopedia metrologii*. Warszawa: WNT.
- Cyran, A. (1996). Indukcyjne i pojemnościowe czujniki położenia. Podzespoły. *Elektronika Praktyczna*, 6, 19–21.
- [http://ep.com.pl/artykuly/10319-Czujniki\\_indukcyjne\\_i\\_pojemnosciowe\\_w\\_praktyce\\_inzynierskiej.html](http://ep.com.pl/artykuly/10319-Czujniki_indukcyjne_i_pojemnosciowe_w_praktyce_inzynierskiej.html) (20.09.2017).
- [http://www.automatyka-tombit.pl/automatyka-przemyslowa\\_czujniki/125-czujnik-indukcyjny-lm18-3008nc.html](http://www.automatyka-tombit.pl/automatyka-przemyslowa_czujniki/125-czujnik-indukcyjny-lm18-3008nc.html) (20.09.2017).
- Szumilewicz, B., Stryburski, W., Słomski, B. (2002). *Pomiary elektroniczne w technice*. Warszawa: PWN.
- [www.di-soric.com](http://www.di-soric.com) (20.09.2017).
- [www.sick.com/pl/pl/produkty/czujniki-zblizeniowe/pojemnosciowe-czujniki-zblizeniowe/c/g201659](http://www.sick.com/pl/pl/produkty/czujniki-zblizeniowe/pojemnosciowe-czujniki-zblizeniowe/c/g201659) (20.09.2017).
- [www.wseiz.pl/files/materiały/I.4.Czujniki\\_pomiarowe.pdf](http://www.wseiz.pl/files/materiały/I.4.Czujniki_pomiarowe.pdf) (20.09.2017).