

Czujniki zbliżeniowe

Czujniki zbliżeniowe to jedne z najpowszechniej stosowanych sensorów w urządzeniach automatyki. Najczęściej do ich zadań należy wykrycie i sygnalizacja obecności obiektu bez kontaktu fizycznego z nim samym. Typowe aplikacje związane są najczęściej z maszynami pakującymi, drukującymi, wtryskarkami, obrabiarkami metali, liniami technologicznymi służącymi do produkcji żywności itd. Zastosowania można mnożyć. W artykule omówiono podstawowe typy czujników zbliżeniowych oraz podano elementarne informacje na temat zasad użytkowania najpopularniejszych z nich – sensorów indukcyjnych. Pozwoli to konstruktorom uniknąć podstawowych błędów przy ich stosowaniu.

Postęp technologiczny przyniósł rozwój automatyki i związanych z tym sensorów. Począwszy od bardzo prostych i służących tylko do sygnalizacji obecności, aż do zaawansowanych, wizyjnych przetwarzających nawet obraz trójwymiarowy.

Czujniki zbliżeniowe są jednymi z najczęściej stosowanych i stale niezastąpione w wielu aplikacjach. Ich zadaniem jest bezdotykowa sygnalizacja obecności obiektu. Wśród nich można wymienić czujniki: pojemnościowe, magnetyczne, fotoelektryczne, ultradźwiękowe, radarowe, pasywne podczerwieni (termiczne), refleksyjne wykorzystujące promieniowanie jonizujące. Bardzo często do sygnalizacji obecności używane są również bariery optyczne wykorzystujące światło widzialne lub niewidzialne. Wszystko zależy od konkretnej aplikacji, od warunków środowiska pracy, z którymi przyjdzie się zmierzyć konstruktorowi a później czujnikowi.

Typowe konfiguracje wyjść i sposobów zasilania

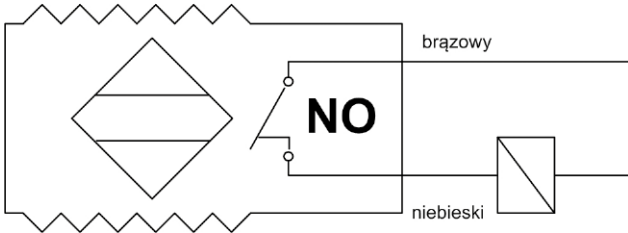
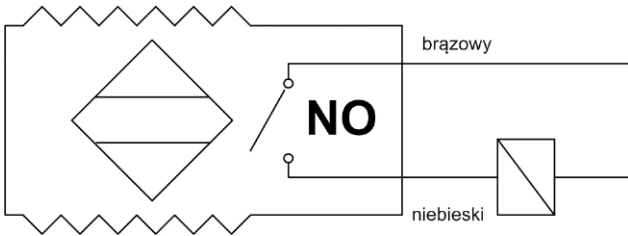
Bez względu na rodzaj medium użytego do detekcji, wyjścia sygnalizujące oraz wejścia napięcia zasilania, niezależnie od producenta czujnika, połączone są zawsze w ten sam sposób a sygnałom powinny odpowiadać te same kolory kabli połączeniowych. Jest to przedmiotem standardu ustalonego dla wszystkich sensorów zbliżeniowych. Każdy sensor ma na wyjściu styki przełącznika NO lub NC lub otwarty kolektor tranzystora wyjściowego typu: NPN NO, NPN NC, NPN NO+NC, PNP-NO, PNP-NC, PNP NO+NC. Interfejs może być dwu-, trój- i czteroprzewodowy.

INTERFEJS DWUPRZEWODOWY. Na rysunku 1 pokazano interfejs dwuprzewodowy. Sensory w niego wyposażone zawierają wzmacniacz wyjściowy, który może sterować obciążeniem szeregowym. W takim systemie szczytkowy prąd spoczynkowy przepływa przez obciążenie zasilając układy elektroniczne czujnika w stanie czuwania. W stanie załączenia spadek napięcia na obciążeniu nie może wpływać na pracę czujnika i dlatego stosując sensory tego typu należy przestrzegać zaleceń producenta odnośnie parametrów podłączanych obciążeń. Dla większości z nich polaryzacja napięcia zasilania nie ma znaczenia, ale zawsze należy to sprawdzić w dokumentacji technicznej udostępnianej przez producenta.

W niemalże identyczny interfejs dwuprzewodowy wyposażone są sensory magnetyczne. Jest to najprostszy rodzaj czujnika zawierający w swojej obudowie styki wykonane z materiału ferromagnetycznego zwierające się pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego. Może to być na skutek zbliżenia magnesu trwałego (współcześnie często używane są miniaturowe magnesy neodymowe). Trudno w przypadku takiego czujnika mówić o wpływie spadku napięcia na funkcjonowanie sensora, jednak sposób pracy interfejsu oraz podłączenie czujnika jest takie samo. Oczywiście, szczytkowy prąd zasilania w tym przypadku nie występuje.

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

na facebook



Rysunek 1. Interfejs 2-przewodowy w czujnikach zbliżeniowych

INTERFEJS TRÓJ- I CZTEROPRZEWODOWY. Na rysunku 2 przedstawiono obecnie najczęściej spotykany interfejs trójprzewodowy. Nieco rzadziej spotykana jest jego odmiana czteroprzewodowa, przedstawiona na rysunku 3. Sensory wyposażone w interfejs trójprzewodowy posiadają wzmacniacz wyjściowy NO lub NC sterujący dołączonym obciążeniem. Sensory z interfejsem czteroprzewodowym posiadają komplementarne wyjścia (NO + NC). Oba rodzaje czujników są wyposażone w wyjścia typu PNP lub NPN standardowo zabezpieczone przed zwarcieniem oraz przepięciami generowanymi przez obciążenia indukcyjne. Niektóre z sensorów są zabezpieczone przed odwrotnym podłączeniem napięcia zasilania.

INTERFEJS ANALOGOWY. Sensory wyposażone w interfejs analogowy są odmianą sensorów z interfejsem trójprzewodowym z tym, że prąd lub napięcie wyjściowe są proporcjonalne do odległości pomiędzy sensorem a obiektem. Sposób połączenia pokazano na rysunku 4. Tego typu urządzenia mogą służyć nie tylko jako czujniki obecności, ale również jako dalmierze. Stosowanie ich jako czujników obecności wymaga zastosowania zewnętrznych układów komparatorów napięcia lub prądu, co nie w każdej sytuacji się opłaca. Dlatego też najczęściej używane są one jako uniwersalne, pełniące różne funkcje w połączeniu ze sterownikiem PLC i odpowiednim oprogramowaniem.

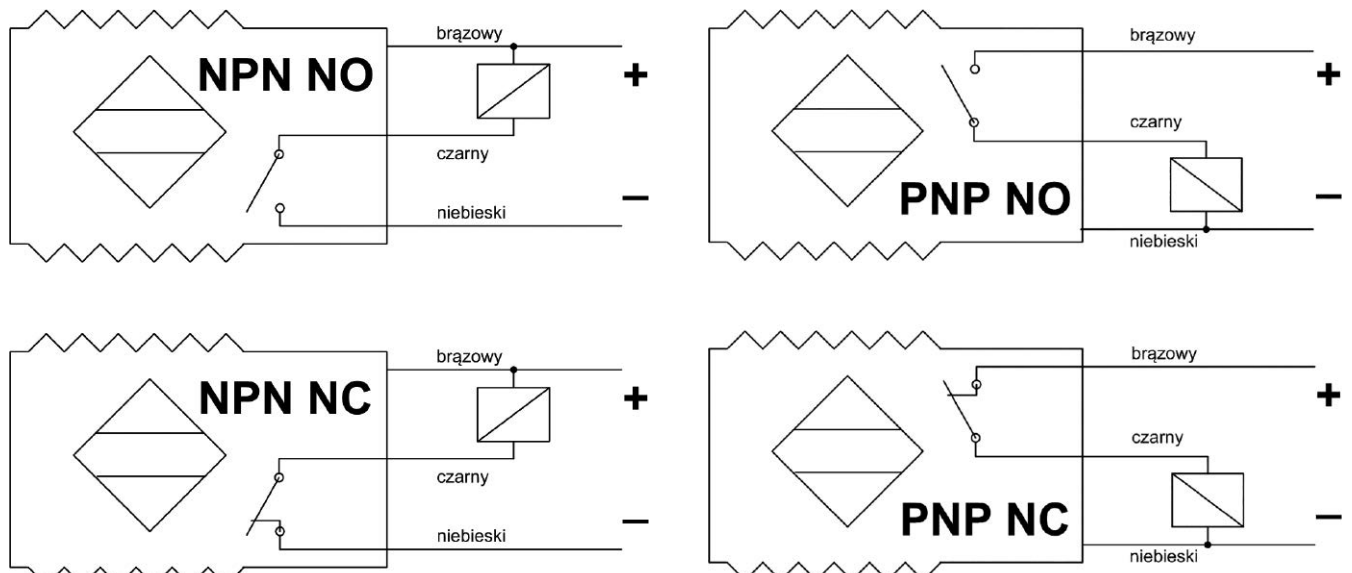
SENSORY NAMUR. Jest to rodzaj czujników analogowych, modulujących proporcjonalnie do odległości pomiędzy czołem sensora a obiektem prąd zasilający czujnik. Sensory tego typu nie posiadają wbudowanego wzmacniacza. Wyposażone są w rodzaj interfejsu dwuprzewodowego. Jak wspomniano wcześniej, prąd płynący przez sensor zależy od dystansu pomiędzy czujnikiem a obiektem. Sensory NAMUR predysponowane są do użycia w środowisku wybuchowym i łatwopalnym. Prąd płynący w obwodzie oraz napięcie zasilające ograniczane są do bezpiecznych dla takich warunków wartości. Dodatkowo, ze względu na środowisko pracy, sensor nie posiada żadnych elementów łączących i przełączających mogących spowodować iskrzenie. Dla poprawnej pracy wymagane jest zastosowanie specjalnego wzmacniacza zewnętrznego.

Pojemnościowe czujniki zbliżeniowe

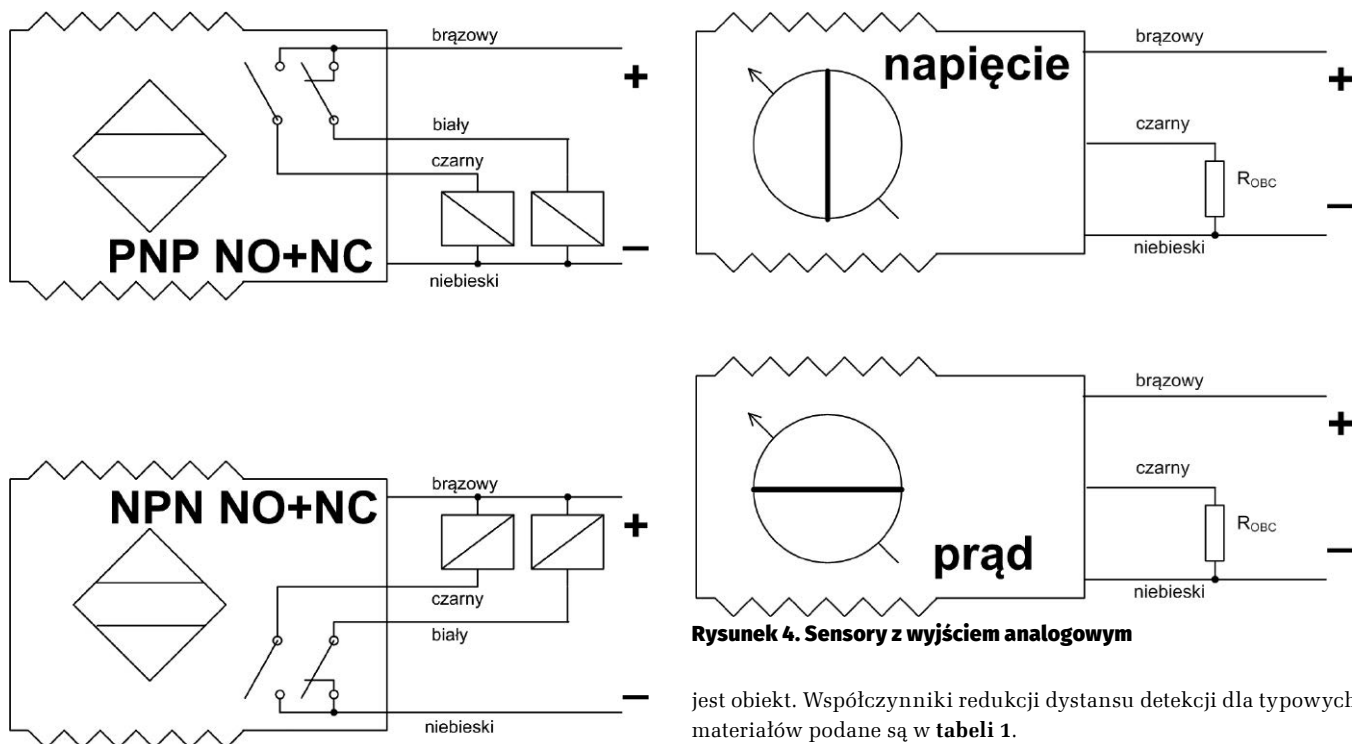
Czujniki pojemnościowe używane są do wykrywania obiektów metalicznych i niemetalicznych (woda, tworzywo sztuczne, drewno itp.). Możliwość detekcji przedmiotów z tworzywa sztucznego stanowi

The screenshot shows the Facebook profile of 'Elektronika Praktyczna'. The cover image is a close-up of a green PCB with various components. The left sidebar contains navigation options like 'Strona główna', 'Informacje', 'Zdjęcia', 'Osoby, które to lubią', 'Filmy', and 'Posty'. The main feed shows several posts: a post from 27 lipiec about Analog Devices buying Linear Technology for \$14.8 billion; a post from 29 lipiec about an e-paper display; and a post from 29 lipiec about an MSP430 microcontroller course. The right sidebar features a search bar, a 'Magazyn' section with various articles and images, and a 'Zdjęcia' section with a grid of images.

REKLAMA



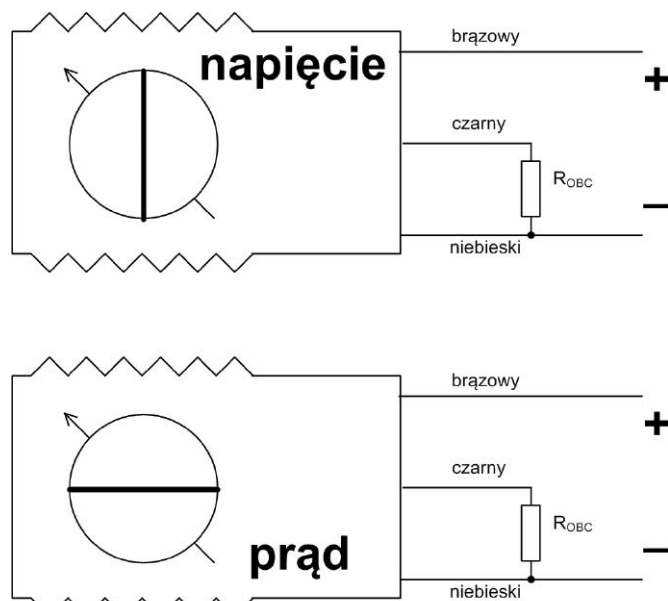
Rysunek 2. Sensory zbliżeniowe z interfejsem trójprzewodowym



Rysunek 3. Sensory zbliżeniowe z interfejsem czteroprzewodowym

o przewodze sensorów pojemnościowych nad indukcyjnymi w aplikacjach automatów pakujących. Sensory tego typu mierzą zmianę pojemności pomiędzy sobą a obiektem poddawanym detekcji. Utworzony przez układ *obiekt – czoło sensora* kondensator ma pojemność zależną od odległości pomiędzy „okładzinami”. Jednocześnie jest on elementem obwodu regulującego częstotliwość wbudowanego w sensor oscylatora. Pojawienie się obiektu (a w efekcie wzrost pojemności) powoduje, że oscylator zaczyna pracować. Wzrost lub spadek częstotliwości jest identyfikowany przez obwody detekcji i wyzwala wzmocniacza zasilającego obciążenie lub załączającego styki przekaźnika.

Bardzo często tego typu sensory wyposażane są w elementy regulacyjne, które umożliwiają nastawę czułości a tym samym dystansu roboczego. Jest to cecha bardzo użyteczna w aplikacjach takich, jak np. detekcja napełnienia zbiornika cieczą (do określenia stanu zbiornika pusty/pełny). Dystans roboczy jest ściśle powiązany z rozmiarami czujnika oraz właściwościami materiału, z którego wykonany



Rysunek 4. Sensory z wyjściem analogowym

jest obiekt. Współczynniki redukcji dystansu detekcji dla typowych materiałów podane są w tabeli 1.

Czujniki pojemnościowe, mimo iż tak funkcjonalne, nie zdołały wyprzeć z zastosowań czujników indukcyjnych. Ich podstawową wadą jest wrażliwość na właściwości dielektryka pomiędzy okładzinami (wilgotność powietrza, zanieczyszczenia, wióry itp.) zwłaszcza, gdy obiekt mierzony (np. poziom cieczy w zbiorniku) jest w relatywnie dużej odległości. Znane są przypadki, gdy zmiana wilgotności powietrza lub pył eliminowały tego typu sensor na rzecz prostszych rozwiązań (np. elektrod zanurzanych w zbiorniku).

Fotoelektryczne czujniki zbliżeniowe

Sensory fotoelektryczne najczęściej są produkowane jako odbiornik zespolony ze źródłem światła. Spotykane są również wykonania w postaci odrębnych modułów nadajnika i odbiornika (bariera). Współcześnie źródłem światła są albo diody LED, albo diody laserowe. Aby uodpornić czujnik na zakłócenia a także zmniejszyć pobór energii, bardzo często wiązka światła poddawana jest modulacji. Odbiornik bazuje na elemencie fotoelektrycznym. Zaletami tego typu sensorów są duża rozdzielczość umożliwiającą detekcję również bardzo małych obiektów i niewielkich przemieszczeń, duży zasięg detekcji oraz krótki czas reakcji. Podstawową wadą jest wrażliwość

Tabela 1. Redukcja dystansu detekcji sensora pojemnościowego dla różnych materiałów (S_n = standardowy zasięg detekcji)

Metale	$S_n \times 1,0$
Woda	$S_n \times 1,0$
Tworzywa sztuczne	$S_n \times 0,5$
Szkło	$S_n \times 0,5$
Drewno	$S_n \times 0,4$

**Rysunek 5. Sensor fotoelektryczny wykorzystujący bezpośrednie odbicie od obiektu****Rysunek 6. Sensor fotoelektryczny wykorzystujący bezpośrednie odbicie od zwierciadła na obiekcie****Rysunek 7. Sensor fotoelektryczny wykorzystujący odbicie światła spolaryzowanego od obiektu****Rysunek 8. Bariera optyczna**

na zanieczyszczenia, na kolor powierzchni i jej zdolność do odbijania/pochłaniania światła. Niestety trudno jest dobrać sensor fotoelektryczny, który będzie uniwersalny. W handlu dostępne są cztery podstawowe rodzaje tego typu czujników, których właściwości krótko omówiono niżej. Oczywiście niektórzy producenci mogą oferować czujniki łączące w sobie różne cechy funkcjonalne.

SENSOR WYKORZYSTUJĄCY BEZPOŚREDNIE, ROZPROSZONE ODBICIE OD OBIEKTU. Nadajnik i odbiornik zamknięte są w tej samej obudowie (rysunek 5). Nadajnik jest wrażliwy na światło odbite bezpośrednio od powierzchni obiektu. Używając tego typu czujnika należy rozważyć kolor wiązki światła w korelacji z kolorem oświetlanej powierzchni. Zasięg jest zależny od koloru światła emitowanego przez nadajnik a odbieranego przez odbiornik. Jednak jeśli oświetlana powierzchnia jest silnie błyszcząca, to może okazać się, że odbicie powodowane przez powierzchnię ma znacznie większy wpływ na funkcjonowanie i zasięg czujnika, niż stosowany kolor światła. Dane techniczne najczęściej odnoszą się do matowej, białej powierzchni papierowej.

SENSOR WYKORZYSTUJĄCY ODBICIE OD REFLEKTORA NA OBIEKCIE. Podobnie jak poprzednio, nadajnik i odbiornik zamknięte są w tej samej obudowie. Bardzo często współczesne czujniki wykorzystujące światło odbite wykonywane są w wersjach działających z reflektorem (z zwierciadłem) lub bez niego. Umożliwiają to mikrokontrolery, w które wyposażony jest sensor, adaptujące go do danej sytuacji. Tego

typu sensor wykrywa obiekt wówczas, gdy ten przesłoni wiązkę światła (rysunek 6) na drodze pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem. Ze względu na zastosowane zwierciadło te czujniki nie są zależne od koloru obiektu i charakteryzują się bardzo dużym zasięgiem.

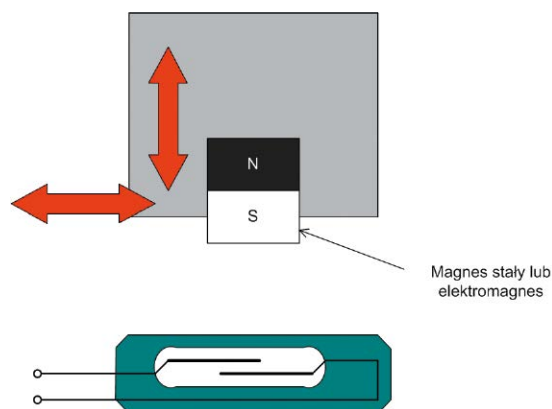
SENSOR WYKORZYSTUJĄCY ODBICIE ŚWIATŁA SPOLARYZOWANEGO. Czujnik podobny funkcjonalnie do opisywanego wyżej, jednak wyposażony w polaryzator i dzięki temu wykorzystujący światło odbite o odpowiedniej polaryzacji (rysunek 7). Dzięki temu sensor nie jest wrażliwy na zakłócenia w postaci innych źródeł światła oraz światło rozproszone na silnie błyszczącej powierzchni, reagując tylko na wiązkę odbieraną z określonego kierunku i ignorując wszystkie pozostałe.

BARIERY. Do detekcji obecności obiektów używane są również bariery. Bariera składa się z odseparowanych od siebie nadajnika i odbiornika (rysunek 8). Pojawienie się obiektu sygnalizuje przerwanie wiązki światła. Współczesne bariery bardzo często wykorzystują laser, co zapewnia im bardzo duży zasięg (nawet do kilkuset metrów) lub bardzo dobrą rozdzielczość.

Czujniki magnetyczne

Czujnik magnetyczny (rysunek 9) jest najprostszym z dostępnych w handlu. Tego typu sensor reaguje na pole magnetyczne magnesu stałego lub elektromagnesu zwierając swoje styki. Do jego konstrukcji bardzo często wykorzystuje się kontaktrony, które mają styki zamknięte w hermetycznej obudowie szklanej wypełnionej gazem obojętnym. Styki wykonane są z materiału odpowiedniego dla przewodzenia małych prądów. Można je również wykonywać w wersjach przeznaczonych do przenoszenia dużych obciążeń indukcyjnych i dzięki temu załączając układy wykonawcze wnoszące obciążenia do kilku Amper bez elementów pośredniczących. Jeśli porównać sensory magnetyczne, do innych omawianych w tym artykule, to wśród zalet można wymienić prostotę budowy, brak elementów elektronicznych, bardzo dobre zabezpieczenie przed wpływami środowiska oraz małą wrażliwość na przepięcia i przetężenia (oczywiście w granicach parametrów materiału stykowego). Tego typu sensory nie wymagają praktycznie żadnych nastaw a jeśli, to bardzo prostych do wykonania i najczęściej polegających na regulacji mechanicznego położenia magnesu czy czujnika. Do ich wad należy konieczność stosowania magnesu i stosunkowo mała czułość.

INDUKCYJNE CZUJNIKI ZBLIŻENIOWE. Często w różnych aplikacjach potrzebne jest wykrycie obecności metalowego elementu w niewielkiej odległości od sensora. Od lat najlepszymi do tego typu zadań są sensory indukcyjne. Pierwsze z nich pojawiły się w aplikacjach już we wczesnych latach sześćdziesiątych. Mimo upływu czasu właśnie ten rodzaj sensorów jest od wielu lat bestsellerem. Powodem jest odporność na trudne warunki przemysłowe. Istnieją również specjalne wykonania odporne na agresywne chemiczne środowiska, posiadające poszerzony zakres temperatur pracy i inne. Mimo prostej zasady działania użytkownicy stosujący indukcyjne czujniki zbliżeniowe często popełniają błędy. Poprawna detekcja obiektów wymaga od użytkownika znajomości fundamentalnych zasad działania tego typu sensora.

**Rysunek 9. Sensor magnetyczny**

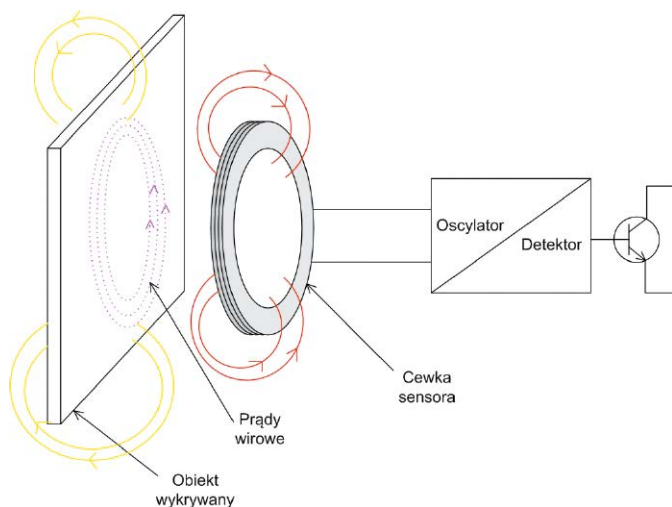
ZASADA DZIAŁANIA. Abstrahując od obudowy, indukcyjny czujnik zbliżeniowy posiada cztery główne komponenty: cewkę, oscylator, obwody detekcji i obwody wyjściowe. Zasada działania jest wspólna dla tej grupy sensorów, ale dobór parametrów i sposobu funkcjonowania poszczególnych bloków zależy od materiału, który ma być wykrywany. Oscylator generuje prąd zmienny, który przepływając przez cewkę umieszczoną wewnątrz jego obudowy wywołuje zmienne pole magnetyczne. Kierunek zamocowania cewki określa jednocześnie stronę, od której to reaguje czujnik. Bardzo często ta strona nazywana jest powierzchnią aktywną.

Gdy obiekt metalowy przesuwa się przez pole detekcji, to są w nim generowane prądy wirowe. Obiekt staje się źródłem pola magnetycznego, które jest skierowane przeciwnie do wytwarzanego przez cewkę (rysunek 10). Dzięki interakcji pól amplituda oscylacji zmniejsza się. Jest ona monitorowana przez obwody detekcji sensora, które poniżej pewnej wartości amplitudy powodują aktywację obwodów wyjściowych.

WARIANTY WYKONANIA. Indukcyjne czujniki zbliżeniowe oferowane są w dwóch wersjach: z ekranowaniem lub bez niego. Typowo, czujnik nieekranowany ma większy zasięg od wersji ekranowanej. Jeśli czujnik nie posiada ekranowania, to generowane przez pole magnetyczne rozprzestrzenia się we wszystkich kierunkach. Ma ono kształt zbliżony do opony. W rezultacie sensor może być wyzwolony zarówno przez obiekt zbliżający się od tyłu pola, jak i od jego czoła. Jeśli czujnik jest ekranowany, to cewka najczęściej posiada rdzeń z materiału ferromagnetycznego, który kieruje pole magnetyczne w stronę czoła sensora. Taki czujnik wykrywa wyłącznie obiekty zbliżające się do niego od czoła. W taki rodzaj rdzenia wyposażane są również sensory nieekranowane. Nie tylko zabezpiecza je to przed obiektami zbliżającymi się od tyłu, ale również poprawia zasięg.

Obudowa sensora może być cylindryczna (najczęściej mocowane są one wówczas za pomocą zwykłych nakrętek nakręcanych na gwintowaną obudowę) lub prostopadłościenna (mocowana za pomocą nitów lub śrub). Dostępne są sensory o różnych wielkościach, które mogą być związane z wymiarami cewki a tym samym zasięgiem sensora. Rozróżnia się je również ze względu na aplikacje: od standardowych, umieszczanych najczęściej w obudowach z tworzywa sztucznego lub stali nierdzewnej, do wykonanych specjalnych, przeznaczonych do pracy w szczególnie trudnych warunkach przemysłowych. Najpopularniejsze są sensory cylindryczne, które stanowią 70% wolumenu sprzedawanych na świecie czujników.

Mnogość odmian i producentów mogła doprowadzić do ogromnego bałaganu, dlatego też kształt, wymiary, zasięg czujników i poziomy wyjściowe zostały zestandaryzowane przez organizację CENELEC. Dzięki temu konstruktor może wybierać z ogromnej oferty sensorów



Rysunek 10. Zasada działania indukcyjnego czujnika zbliżeniowego

Tab. 2. Redukcja dystansu detekcji sensora indukcyjnego dla różnych metali (Sn = standardowy zasięg detekcji)

Żelazo	$Sn \times 1,0$
Stal nierdzewna	$Sn \times 0,8$
Mosiądz	$Sn \times 0,5$
Aluminium	$Sn \times 0,4$
Miedź	$Sn \times 0,3$

dostępnych na rynku i mieć pewność, że sensory różnych producentów będą funkcjonować w podobny sposób przynajmniej, jeśli rozpatrywać je od strony interfejsu użytkownika. Niemniej jednak konstruktorzy, którzy niejako w sposób automatyczny dokonują wyboru sensora i traktują go jako „ogólnego przeznaczenia”, mogą napotkać pewne problemy. Właściwymi przesłankami do jego wyboru są bowiem, kolejno: rodzaj materiału, który będzie wykrywany, środowisko pracy, sposób i miejsce montażu.

CZUŁOŚĆ CZUJNIKA INDUKCYJNEGO. Nie wszystkie czujniki indukcyjne jednakowo reagują na różne metale, ponieważ te mają odmienne właściwości fizyczne. Specyfikacja zawarta w karcie katalogowej najczęściej odnosi się do reakcji na „obiekty standardowe” wykonane z żelaza. Inne metale takie, jak: stal nierdzewna, mosiądz, aluminium, miedź mają inną kondycyjność a tym samym inny wpływ na indukcyjność cewki czujnika. Zazwyczaj dystans, w jakim mogą zostać wykryte jest mniejszy, niż w przypadku żelaza. Dlatego też bardzo ważne jest określenie, jaki rodzaj metalu będzie wykrywany. W wielu aplikacjach przemysłowych bardzo istotna jest również możliwość zmiany materiału podawanego detekcji. Czujnik może być na przykład elementem układu automatyki sygnalizującym obecność detalu poddawanego obróbce wykonanego ze stali, a po zmianie profilu produkcji – z aluminium. Do poprawnego określenia dystansu zadziałania czujnika producenci podają tzw. współczynnik redukcji. Współczynniki redukcji dla typowo stosowanych materiałów zawarto w tabeli 2.

Niektórzy producenci wytwarzają również specjalne odmiany sensorów przeznaczonych do detekcji „trudnych” metali. Te specjalne czujniki indukcyjne określane są mianem „do metali nieżelaznych” lub „do wszystkich metali” (w języku angielskim spotyka się określenia *Nonferrous sensing* lub *All-metal sensing*). Pierwsza grupa czujników wykrywa aluminium znacznie lepiej i w większej odległości, niż żelazo. Druga grupa wykrywa wszystkie metale w tej samej odległości. Jeśli sprowadzić różnice w czujnikach do sposobów ich wykonania, to różnią się one pomiędzy sobą ilością cewek przeznaczonych do detekcji. Czujniki specjalne najczęściej zawierają dwie lub trzy odseparowane od siebie cewki, podczas gdy standardowe zawierają tylko jedną. Oczywiście ta różnica konstrukcyjna wpływa na sposób wykonania układu elektronicznego czujnika, jak również i na jego wymiary mechaniczne. Uogólniając można powiedzieć, że czujniki specjalne zazwyczaj mają większe wymiary, niż ich standardowe odpowiedniki i z powodu większej ilości elementów konstrukcyjnych, są też od nich droższe.

ŚRODOWISKO PRACY CZUJNIKA INDUKCYJNEGO. Wśród czynników wpływających na sensor podawano również środowisko pracy. Wbrew pozorom nie jest to tylko wybór materiału, z którego wykonana jest obudowa sensora. Producent musi uwzględnić również inne czynniki takie, jak zakres temperatur roboczych. Podwyższona temperatura zazwyczaj powoduje drastyczną redukcję czasu MTBF. Z drugiej strony, zarówno niska jak i wysoka temperatura zazwyczaj spowodują zmianę zasięgu detekcji. Innym problemem, który napotyka projektant są odpady produkcyjne. W pewnych aplikacjach metalowy pył, wióry lub odłamki mogą gromadzić się na powierzchni sensora lub w bezpośredniej jego bliskości. Po pierwsze wpłyną one na zmianę zasięgu detekcji, po drugie mogą doprowadzić do załączenia sensora niejako na stałe, powodując tym samym awarię systemu. Dlatego też niektórzy producenci sensorów wyposażyli je w mikrokontrolery,

które są w stanie wykryć wolno gromadzące się odłamki metaliczne i spowodować, że obwody detekcji sensora wykryją ten efekt i nie będzie ona reagował na fałszywe alarmy.

Ten rodzaj sensora bywa różnie określany w katalogach. Czasami nazywane są po prostu „inteligentnymi”. W języku angielskim określane są jako *chip-immune*, tzn. niewrażliwe na odłamki. Naturalną odpornością na takie warunki pracy charakteryzują się również sensory umieszczone w cienkich, płaskich obudowach, na których materiał metaliczny praktycznie nie ma gdzie się gromadzić.

Sensory mogą również pracować w środowisku rozpuszczalników chemicznych lub żrącym przez określany przez producenta czas. Jeśli obudowa takiego sensora będzie wykonana ze standardowych materiałów, to może stać się krucha i złamać się. Czas funkcjonowania będzie znacznie poniżej deklarowanego przez producenta czasu MTBF w warunkach normalnych. Do zanurzenia w rozpuszczalnikach lub środkach żrących przeznaczone są specjalne sensory powlekane teflonem. Dodatkowy koszt ponoszony na powłokę teflonową jest uzasadniony koniecznością zapewnienia odporności materiału obudowy na związki chemiczne powodujących korozję. Teflon zabezpiecza również przed gromadzeniem się zanieczyszczeń.

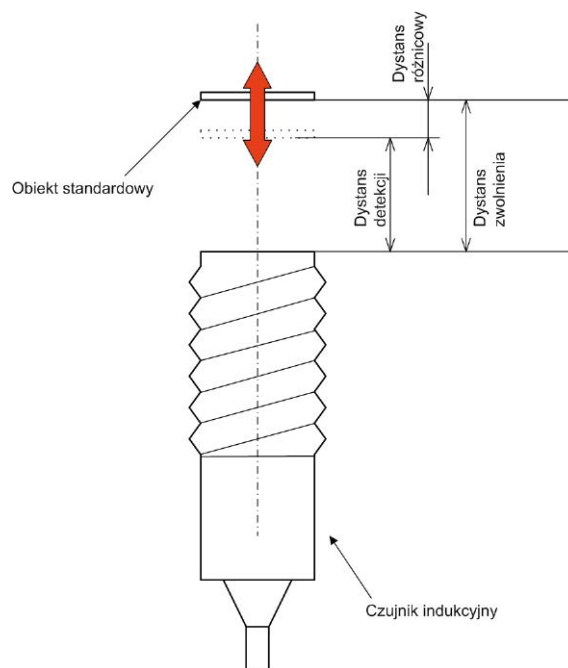
CZUJNIKI Z ODSEPAROWANĄ CEWKĄ. Wysoka temperatura otoczenia stawia inne wyzwania. Typowo sensory indukcyjne zbliżeniowe to urządzenia z wbudowaną całą niezbędną elektroniką. Są to komponenty pasywne i aktywne takie, jak tranzystory, układy scalone, mikrokontrolery itp. Przez to możliwe jest stosowanie tego typu czujników w aplikacjach dopóty, dopóki warunki pracy nie przekraczają standardowych dla aplikacji wykorzystujących komponenty krzemowe. Normalnie jest to zakres temperatur od $-25...+70^{\circ}\text{C}$.

W temperaturach poza podanym zakresem, czujnik może ulec uszkodzeniu. W takich warunkach konstruktor powinien zastosować czujniki, które posiadają obwody elektroniczne odseparowane od cewki. Głowica takiego czujnika zawiera najczęściej tylko cewkę, przewód połączeniowy i złącze i ewentualnie dopasowujące elementy bierne. Wzmacniacz i obwody detekcji mogą być dzięki temu umieszczone w obudowie zapewniającej właściwe warunki pracy. Tego typu głowice odporne są na temperaturę nawet rzędu $+200^{\circ}\text{C}$.

WYKONANIA SPECJALNE. Współcześnie, dzięki miniaturyzacji komponentów, stało się możliwe wytwarzanie czujników o kształcie prostopadłościanu, wymiarach $5,5\text{ mm}\times 5,5\text{ mm}\times 19\text{ mm}$ i zasięgu około $1,6\text{ mm}$. Postęp w dziedzinie wytwarzania czujników owocuje również opracowaniem zupełnie innej linii czujników indukcyjnych. Są to sensory o średnicy około 3 mm wyposażone w kabel połączeniowy o podwyższonej elastyczności, przeznaczone do zastosowania w robotyce.

Wyłącznik krańcowy (tzw. limiter) to specjalny rodzaj czujnika indukcyjnego. Charakterystyczną dla niego jest liczba cykli załączeń. Jest znacznie większa, niż standardowego sensora i wynosi około 3×10^5 cykli, podczas gdy standardowy ma około 1×10^5 cykli. Limityry umieszczone są w obudowach prostopadłościennych o wymiarach około $40\text{ mm}\times 40\text{ mm}\times 115\text{ mm}$. Jeśli jednak nie jest wymagany żaden specjalizowany sensor, to konstruktor może bez problemu używać sensorów w obudowach cylindrycznych, które przez lata obecności w aplikacjach udowodniły swoją skuteczność. Nie mniej jednak, gdy wybrano już właściwy typ sensora, to konieczne jest dokładne zapoznanie się z ofertami różnych producentów tak, aby upewnić się, że wybrano sensor mający długi czas funkcjonowania i oprócz tego wykonany z odpowiednio wysoką jakością.

Dla wielu sensorów krytyczną jest grubość materiału obudowy i jej odporność na urazy mechaniczne. Jest to wbrew pozorom parametr bardzo istotny, ponieważ przypadkowe, incydentalne uderzenia obiektu o sensor nie powinny być powodem jego uszkodzenia i tym samym nie powodować konieczności jego wymiany. Bardzo ważnym jest również kabel połączeniowy, który powinien być elastyczny, ale jednocześnie wytrzymały i odporny na warunki środowiska, w którym będzie pracował sensor.



Rysunek 11. Sposób wyznaczenia podstawowych parametrów czujnika indukcyjnego

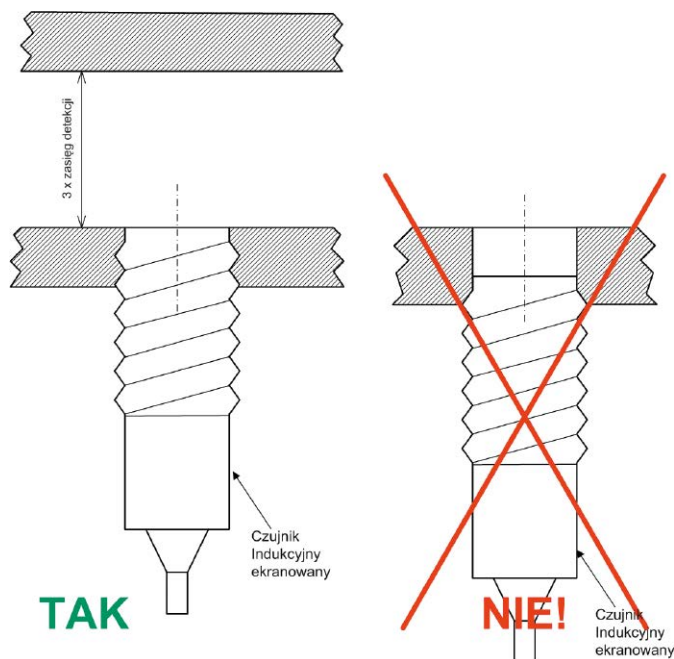
Podstawowe parametry detekcji

OBIEKT STANDARDOWY. Parametry czujnika indukcyjnego podawane w karcie katalogowej odnoszą się do tzw. obiektów standardowych. Oznacza to obiekty o określonym kształcie, wymiarze i wykonane z określonego materiału (w przypadku czujnika standardowego jest to żelazo), używane jako standardowe do pomiarów parametrów sensora. Jest to bardzo ważny termin, ponieważ zasięg detekcji będzie się różnił w zależności od właściwości obiektu. Typowo dla określenia parametrów standardowych sensorów indukcyjnych używana jest stalowa płytka o grubości 1 mm , o wymiarach odpowiadających wymiarom czoła sensora (średnicy w przypadku sensora cylindrycznego).

DYSTANS DETEKcji. Jest to odległość sensora od obiektu standardowego przemieszczanego przed czołem sensora, przy której działa jego wyjście. Obiekt standardowy przemieszcza się w kierunku czoła sensora w ściśle określony sposób: prostopadła do czoła sensora oś symetrii cewki przebiega przez oś symetrii obiektu prostopadłą do jego powierzchni. Ruch odbywa się do/od sensora (rysunek 11). Na dystans detekcji bardzo duży wpływ mają konduktywność i grubość wykrywanego materiału. Materiały o wysokiej konduktywności są słabo wykrywane przez standardowe wykonania sensorów. Również im grubszy materiał, tym trudniej go wykryć. Oba wymienione czynniki wpływają na prądy wirowe generowane przez zmienne pole sensora. Dobrze przewodzący materiał rozprasza prądy. Niewielka grubość obiektu powoduje, że prądy nie mają możliwości rozprzeczania się i dzięki temu możliwa jest detekcja z większych dystansów.

DYSTANS ZWOLNIENIA. Dystans, przy którym obwody detekcji sensora stwierdzają brak obiektu w polu detekcji i zwalniają styki. Zasięgi zadziałania i zwolnienia są różne. Różnica pomiędzy tymi odległościami nazywana jest **DYSTANSEM RÓŻNICOWYM** lub histerezą czujnika. Typowo jest to $3...10\%$ zasięgu detekcji. Dystans różnicowy jest wprowadzany przez producenta celowo tak, aby uniknąć zjawiska drgania styków przy wibracjach obiektu. W niektórych zastosowaniach czujniki indukcyjne muszą mieć powtarzalny punkt wyzwolenia z dokładnością do $0,001\text{ mm}$. Aby osiągnąć tak dużą precyzję, obiekt wykrywany musi być odsunięty od sensora poza odległość zwolnienia po każdym wyzwoleniu sensora.

DYSTANS ZAŁĄCZENIA. Odległość pomiędzy powierzchnią aktywną sensora a obiektem standardowym, przy którym ten aktywuje swoje wyjście nawet, jeśli dystans detekcji zmniejsza się ze względu na temperaturę lub wahania napięcia zasilającego sensor. Oczywiście, nie



Rysunek 12. Sposób montażu czujnika indukcyjnego, ekranowanego

każda aplikacja ma luksus wykrywania standardowych obiektów (lub zbliżonych do nich) opisanych w danych technicznych sensora. Dystans detekcji dla obiektów o nieregularnym kształcie nie może być estymowany na podstawie danych producenta. Zamiast tego trzeba użyć obiektu testowego i wykonać niezbędne pomiary. Rezultat będzie kombinacją obiektu wykrywanego i właściwości sensora indukcyjnego i może być obliczony z użyciem następującej formuły:

$$DZ' = DD \cdot DZ / SDD$$

gdzie:

- DZ' – nowy dystans załączenia,
- DD – dystans detekcji zmierzony podczas testów,
- DZ – dystans załączenia dla obiektów standardowych,
- SDD – dystans detekcji dla obiektów standardowych.

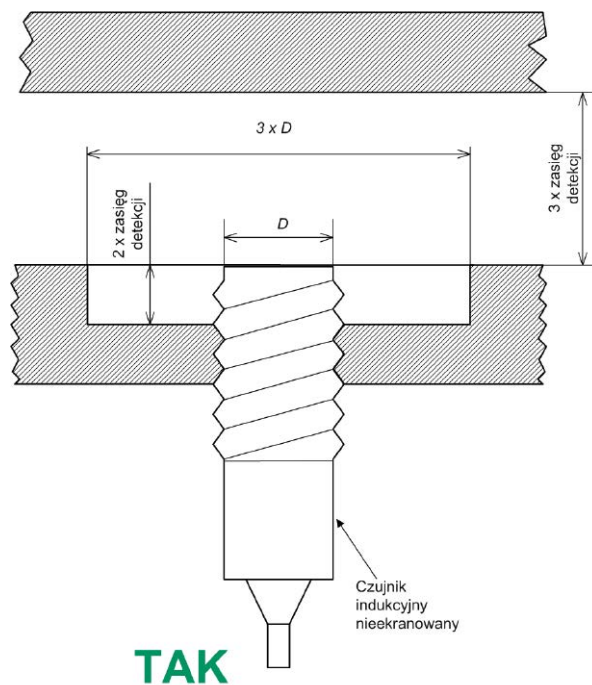
Wpływ montażu sensora na dystans detekcji

Istotnym, lecz jakże często lekceważonym, jest sposób montażu czujnika. Jest on bardzo ważnym z punktu widzenia aplikacji, ponieważ może się zdarzyć, że dystans detekcji zostanie zredukowany przez elementy mechaniczne lub inne przeszkody na drodze pomiędzy obiektem o powierzchnią aktywną sensora. Mogą one także prowadzić do błędów w funkcjonowaniu czujnika.

Czujnik może być zamocowany w metalowym uchwycie w taki sposób, że aktywna powierzchnia detekcji jest wyrównana z powierzchnią montażu (rysunek 12a). Taki sposób zamocowania chroni czujnik przed przypadkowymi uszkodzeniami mechanicznymi. Należy pozostawić „czystą” przestrzeń przed czołem czujnika w odległości potrojonego dystansu detekcji. Zniweluje to wpływ konstrukcji na czujnik i zabezpieczy system przed przypadkowymi załączeniami lub ograniczeniem czułości.

Czujnik nawet w wykonaniu ekranowanym, tj. z ukierunkowanym w stronę czoła polem magnetycznym, nie powinien być wpuszczany w otwór w taki sposób, że jego powierzchnia czołowa zagłębi się w nim (rysunek 12b). Oczywiście, w partykularnych przypadkach taki sensor zadziała, jednak ten sposób montażu znacznie ograniczy zasięg detekcji i czułość sensora.

Jeśli czujnik wykonany jest w wersji nieekranowanej, to wokół niego należy pozostawić wolny obszar (rysunek 13) o średnicy co najmniej potrojonego dystansu detekcji. Sensor nieekranowany nie może być całkowicie schowany w otworze tak, jak jego odpowiednik w obudowie ekranowanej, ponieważ ze względu na powiększony dystans



Rysunek 13. Sposób montażu sensora nieekranowanego

detekcji jest on bardzo podatny na wpływ otaczających metali. Nieprzestrzeżenie tego zalecenia może prowadzić do błędów zadziałania lub zredukować dystans detekcji.

Gdy wiele sensorów indukcyjnych montowanych jest blisko siebie, to poprzez sprzężenia magnetyczne mogą one na siebie wzajemnie oddziaływać. Problemy powodowane przez interferencje ze względu na swój nieregularny charakter mogą być trudne do diagnozy i usunięcia. Najczęściej, gdy czujniki zainstalowane są blisko siebie, w odległości mniejszej od podawanej w specyfikacji, to objawiają się w postaci przypadkowych, incydentalnych błędów detekcji lub drgania napięcia wyjściowego (lub styków). Bezpieczna odległość instalacji czujników może być różna zależnie od typu czujnika i jego producenta. Z oczywistych względów fizycznych, znacznie mniej podatne na wpływ są czujniki miniaturowe i ekranowane. Z drugiej strony są one również źródłem znacznie mniejszych interferencji.

Niektórzy producenci oferują alternatywne rodzaje czujników wyposażonych w różne oscylatory. Dzięki temu zapobiegają sprzężeniu indukcyjnemu. Inną z technik unikania sprzężeń jest multipleksowanie czujników. Ich przełączanie bywa rozwiązaniem problemu, o ile tylko w aplikacji można sobie pozwolić na opóźniony czas zadziałania sensora.

Podsumowanie

W artykule omówiono tylko podstawowe typy czujników nie uwzględniając ich „mutacji”. Nie omawiano również rzadko stosowanych detektorów obecności, jak na przykład te wykorzystujące promieniowanie jonizujące. Postęp w dziedzinie sensorów jest znaczny, jednak nie należy spodziewać się, że nastąpią jakiegoś błyskawiczne, rewolucyjne zmiany, które spowodują, iż sensory zbliżeniowe trafią do lamusa. Nadal pomimo wprowadzenia na rynek zaawansowanych technik przetwarzania obrazu i ogromnych zalet tychże, stosowane będą te najprostsze, elementarne wręcz czujniki. Przyczyny są prozaiczne: po pierwsze niska cena a po drugie powszechne zrozumienie zasad użycia sensora. Oferta rynku jest wręcz przeogromna i naprawde jest w czym wybierać. Wejście niejako w głąb konstrukcji i zrozumienie pryncypiów funkcjonowania sensora jest kluczem do dokonywania właściwych wyborów i ustrzeżenia się przed błędami w aplikacjach.

Jacek Bogusz, EP