

Automatyka przemysłowa

Wykład 4

Czujniki i przetworniki

2023-05-12

Piotr Felisiak



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wroclawska

Czujniki

Czujniki to urządzenia, które po zetknięciu ze zjawiskiem fizycznym, charakteryzowanym przez pewną wielkość fizyczną, (temperatura, ciśnienie, przemieszczenie, siła itp.), wytwarzają odpowiadające jej dane wyjściowe zdolne do przetworzenia przez system automatyki.


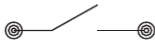



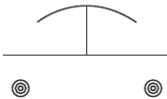
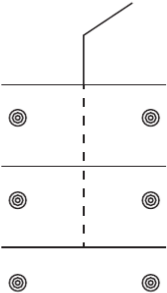
Przetworniki

Wyrażenie *przetwornik* jest używane często jako synonim czujnika. My będziemy zakładać, że czujnikiem jest wyłącznie element bezpośrednio zamieniający wielkość fizyczną na wielkość elektryczną (*sensing element*), natomiast przetwornikiem (*transducer, transmitter*) będziemy zwać urządzenie zamieniający jedną formę sygnału elektrycznego na inną, jak np. przetwornik analogowo-cyfrowy.

Klasyfikacja czujników

- Ze względu na charakter sygnału:
 - Dyskretne
 - Analogowe, np. 4 ... 20 mA, 0 ... 10 V
- Ze względu na mierzoną wielkość fizyczną, wyróżnia się czujniki:
 - Zbliżeniowe
 - Temperatury
 - Poziomu
 - Ciśnienia
 - Przepływu
 - Światła
 - Położenia
 - Wielkości elektrycznych, jak U, I, P, $\cos(\phi)$, itp.
 - Inne

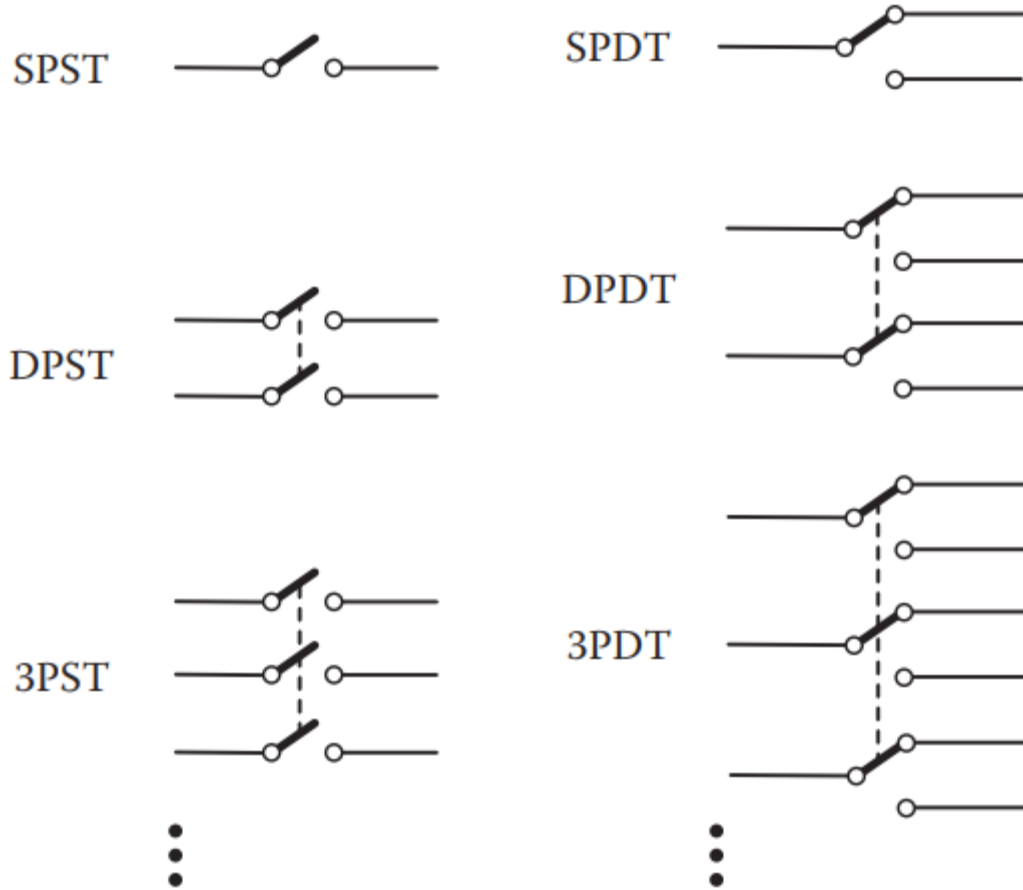
Przełączniki

	Normally Closed (NC)	Normally Open (NO)
Switch		
Relay		
Button		
3 Pole Selector Switch		

Rys. Symbole przełączników [1]

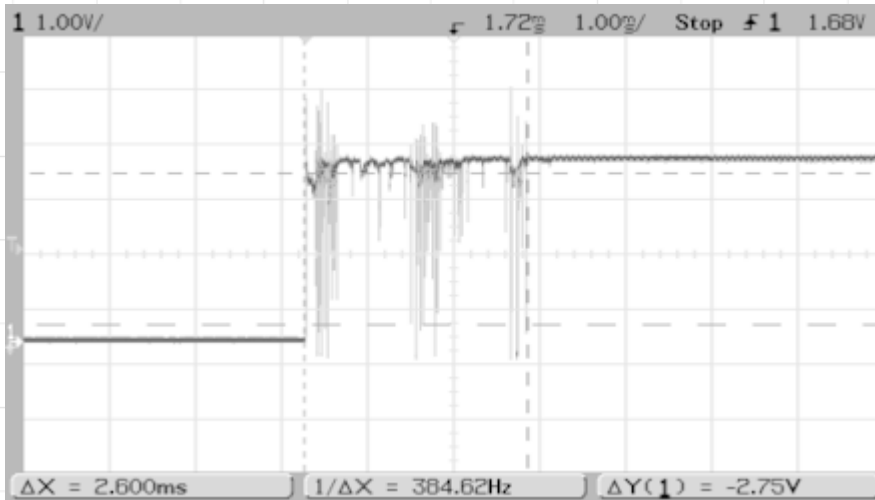


Przełączniki - rodzaje



Rys. Single-pole / double-pole / single-throw / double-throw [3]

Przełączniki - bounce



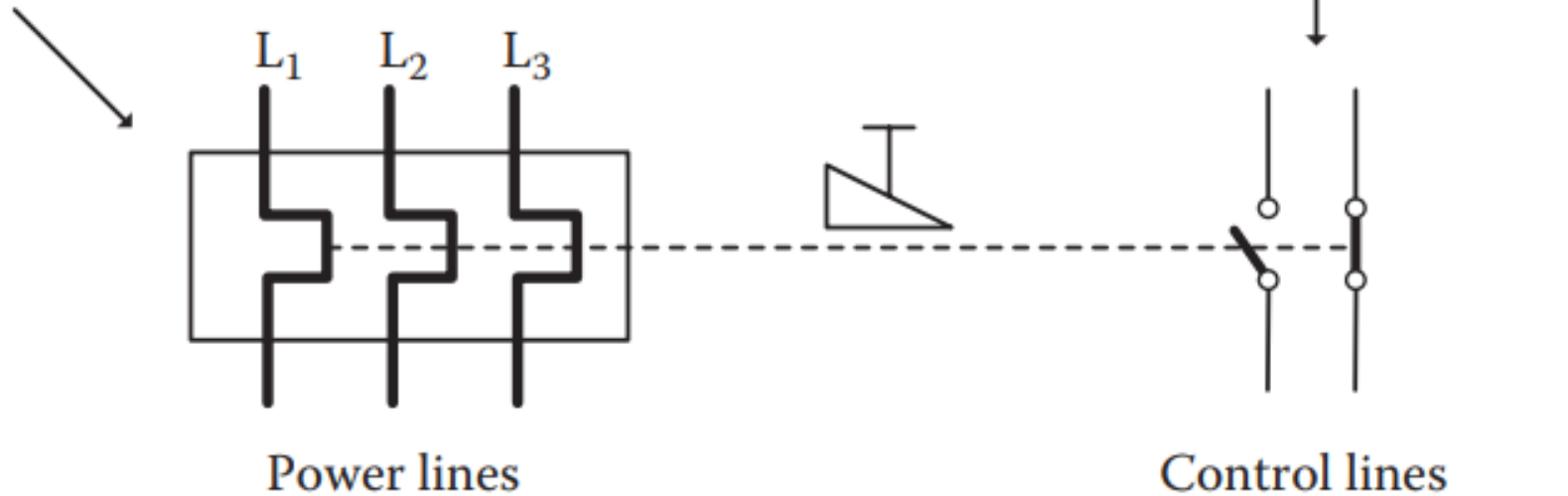
Rys. *Switch bounce* [2]

Debouncing:

- Analogowo, poprzez filtr dolnoprzepustowy
- Cyfrowo, poprzez wykrywanie, czy sygnał się ustalił

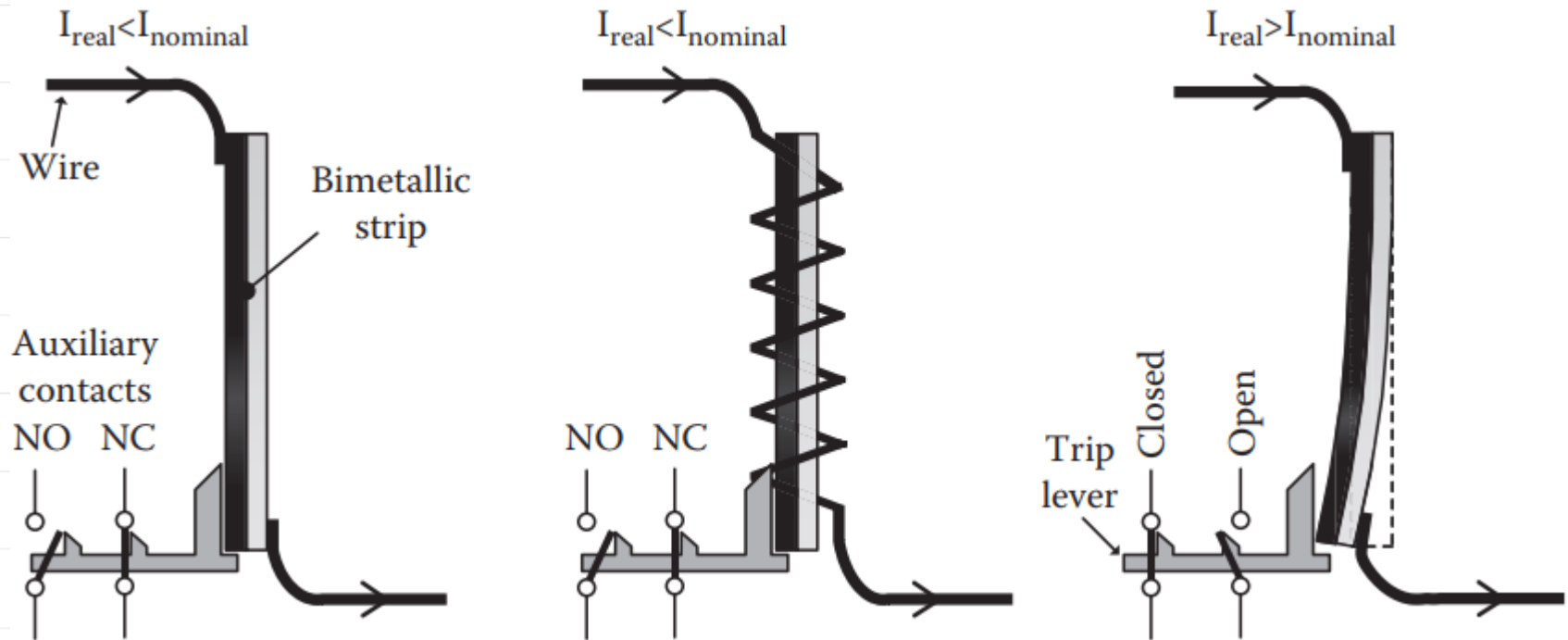
Przełączniki nadprądowe

Thermal overload
relay symbol



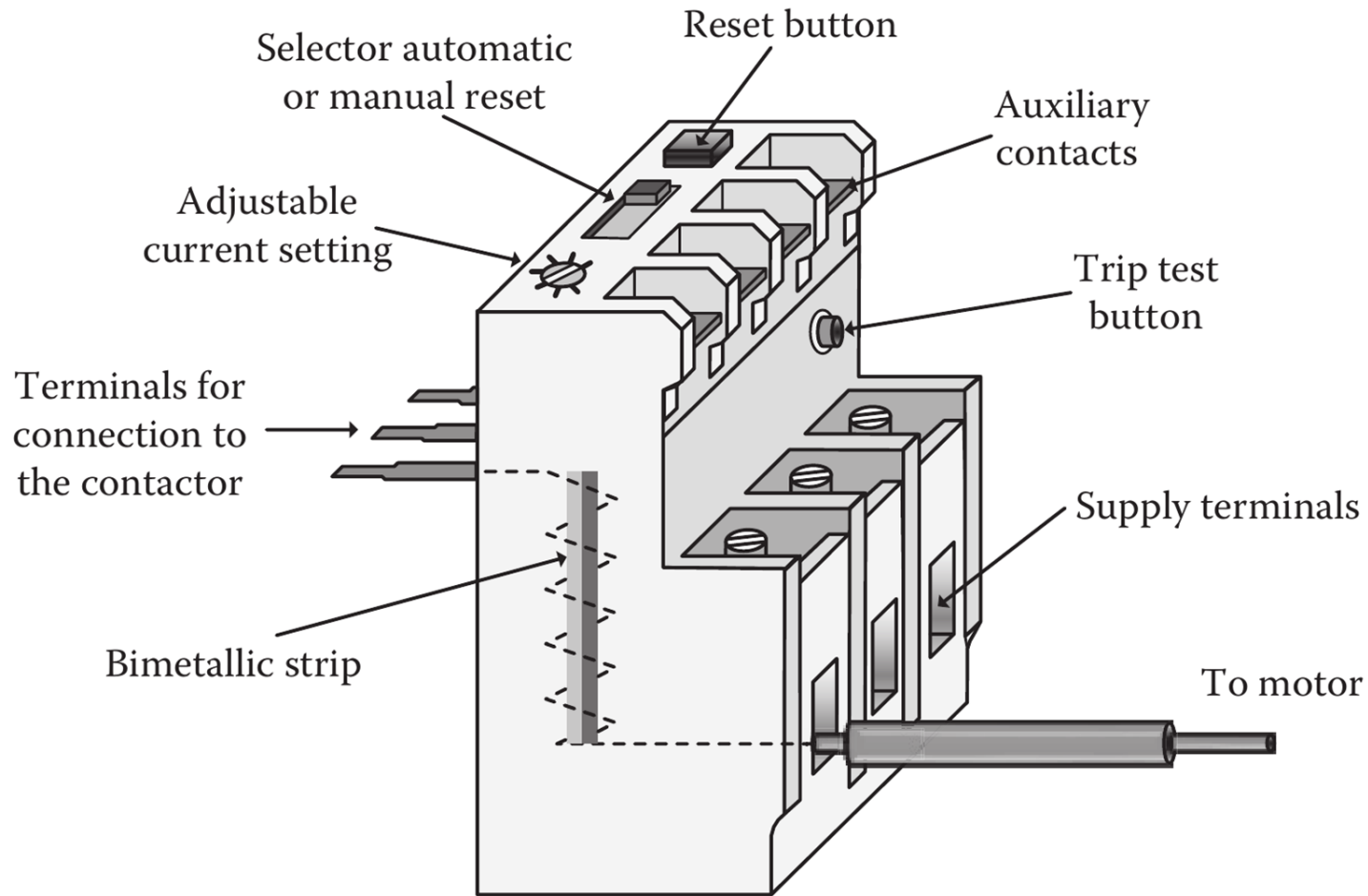
Rys. Przełącznik nadprądowy - symbol [3]

Przełączniki nadprądowe



Rys. Przełącznik nadprądowy – zasada działania [3]

Przełączniki nadprądowe



Rys. Przełącznik nadprądowy – wygląd zewnętrzny [3]

Czujnik zbliżeniowy

Czujnik zbliżeniowy to czujnik do bezkontaktowego wykrywania obecności różnych przedmiotów, metalowych lub nie, przed obszarem działania tego czujnika.



Rys. Typowy czujnik zbliżeniowy [3]

Klasyfikacja czujników zbliżeniowych

Ze względu na zasadę działania:

- **Indukcyjne** – wykorzystujące zmianę indukcyjności magnetycznej
- **Pojemnościowe** – wykorzystujące zmianę pojemności
- **Magnetyczne** – wykorzystujące zmianę strumienia magnetycznego

Zalety czujników zbliżeniowych

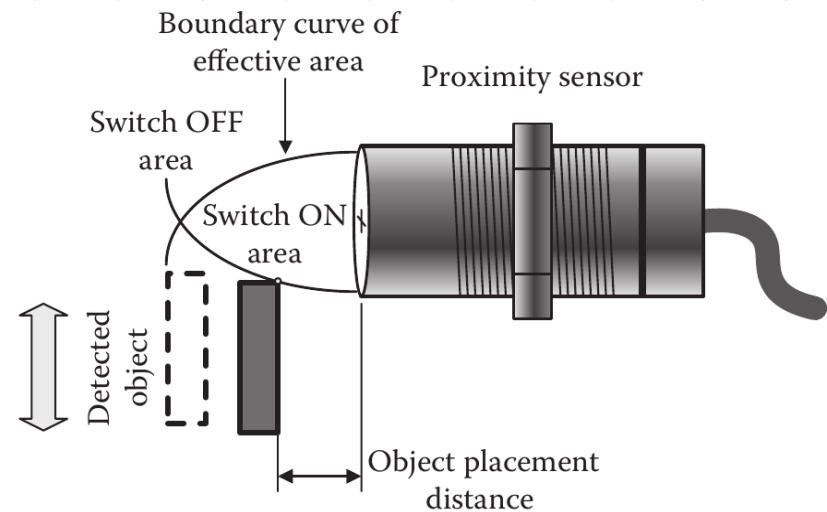
- Długa żywotność elektryczna
- Odporność na wibracje, przyspieszony ruch i toksyczne środowisko
- Eksploatacja pod napięciem DC lub AC
- Skuteczne reagowanie na zbliżające się obiekty z dużą prędkością i wzbudzenie o wysokiej częstotliwości
- Brak jakichkolwiek ruchomych elementów

Parametry czujników zbliżeniowych

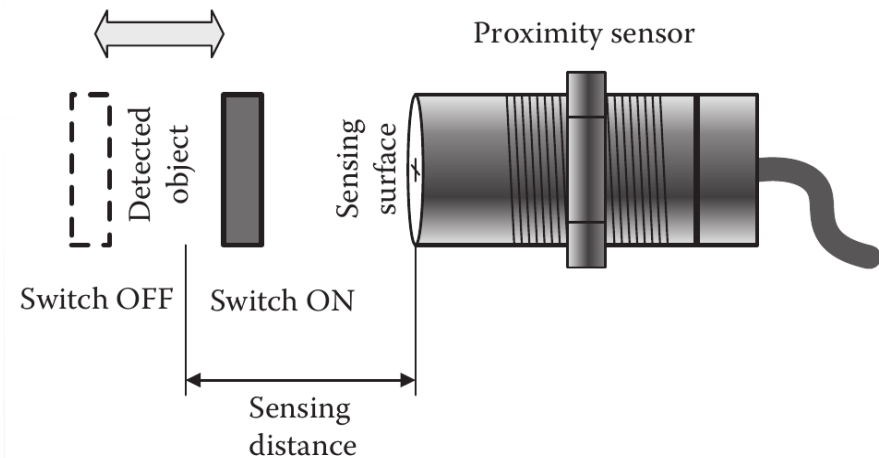
Odległość wykrywania to maksymalna odległość między obiektem docelowym a efektywnym obszarem przełącznika.

Obecność obiektu przed efektywnym obszarem przełącznika jest wykrywana, gdy odległość między obiektem a efektywnym obszarem nie jest większa niż odległość wykrywania.

Względne położenie obiektu i czujnika zbliżeniowego



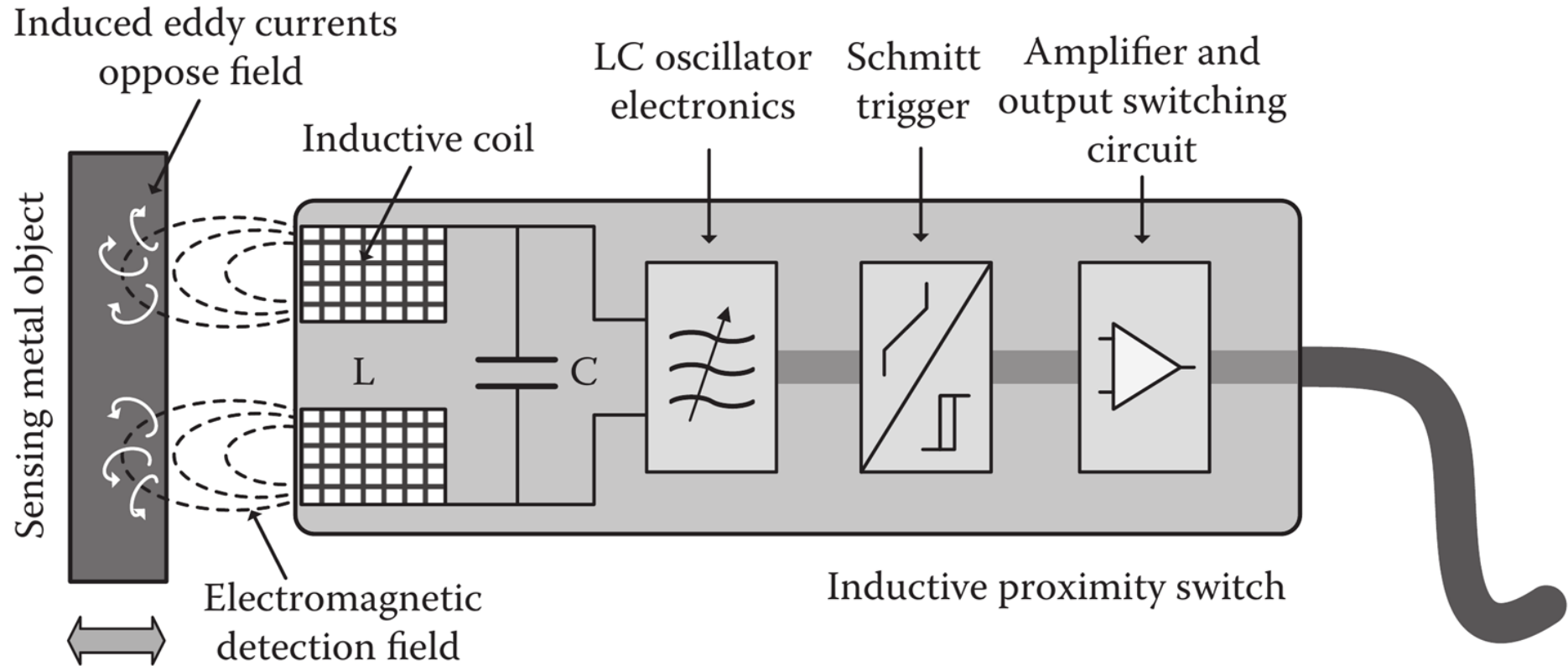
(a) Perpendicular to sensor's axis movement



(b) Parallel to sensor's axis movement

Rys. Ruch obiektu przed obszarem wykrywania czujnika zbliżeniowego **prostopadle** do osi wzdłużnej czujnika (a) i **równolegle** do osi wzdłużnej czujnika (b) [3]

Czujnik zbliżeniowy indukcyjny

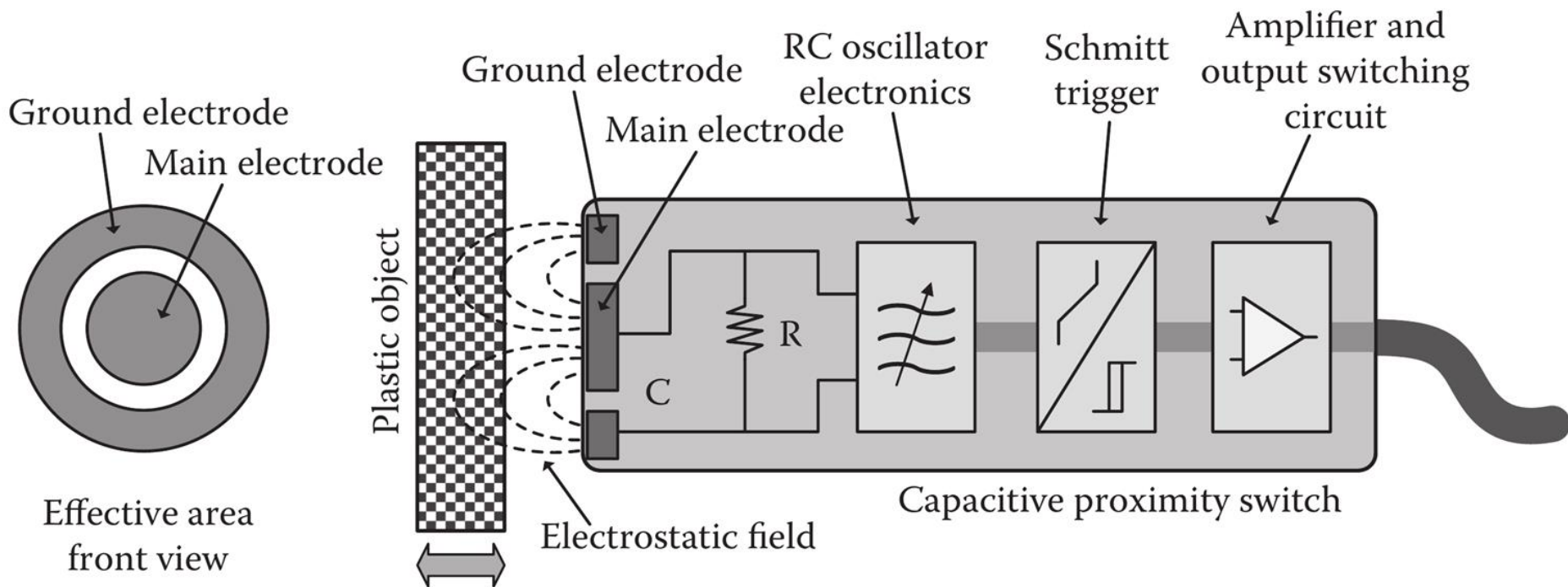


Rys. Budowa wewnętrzna indukcyjnego czujnika zbliżeniowego [3]

Czujnik zbliżeniowy indukcyjny

Oscylator LC czujnika wytwarza, poprzez cewkę, pole elektromagnetyczne o wysokiej częstotliwości, które rozciąga się przed całym obszarem czołowym. Jeśli metalowy przedmiot wejdzie w strefę pola elektromagnetycznego, wówczas w ciele tego obiektu generowane są prądy wirowe. Te prądy wirowe generują własne pole elektromagnetyczne, które jest przeciwne do pola cewki i pobiera energię z obwodu oscylacyjnego, zmniejszając w ten sposób amplitudę oscylacji. Wartości tej amplitudy są dyskretyzowane przez przerzutnik Schmitt'a i przekazywane dalej jako sygnał binarny.

Czujnik zbliżeniowy pojemnościowy

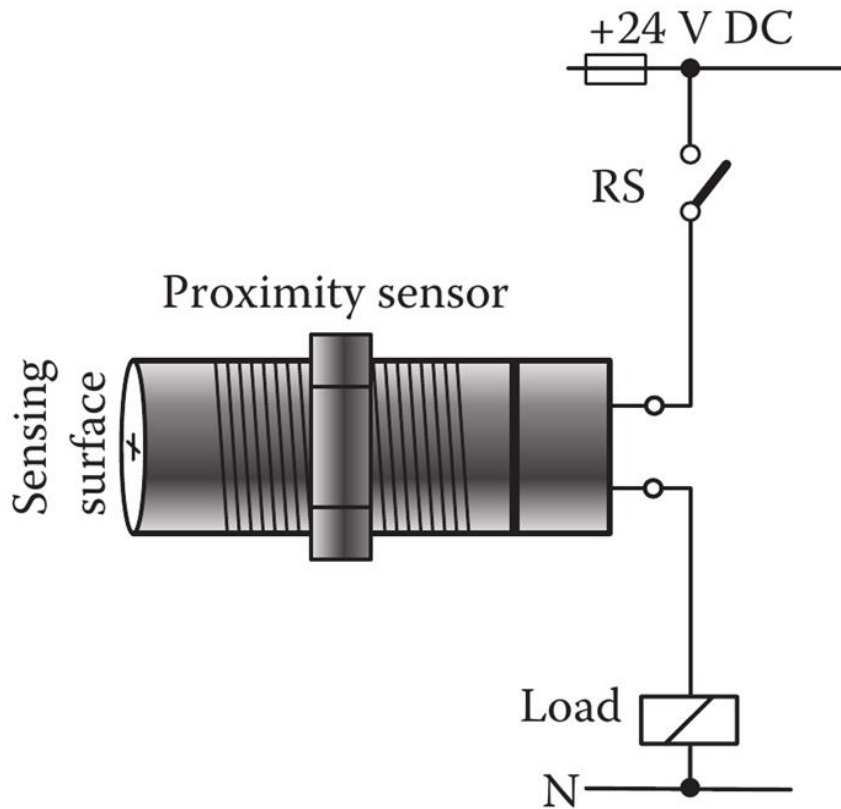


Rys. Budowa wewnętrzna pojemnościowego czujnika zbliżeniowego [3]

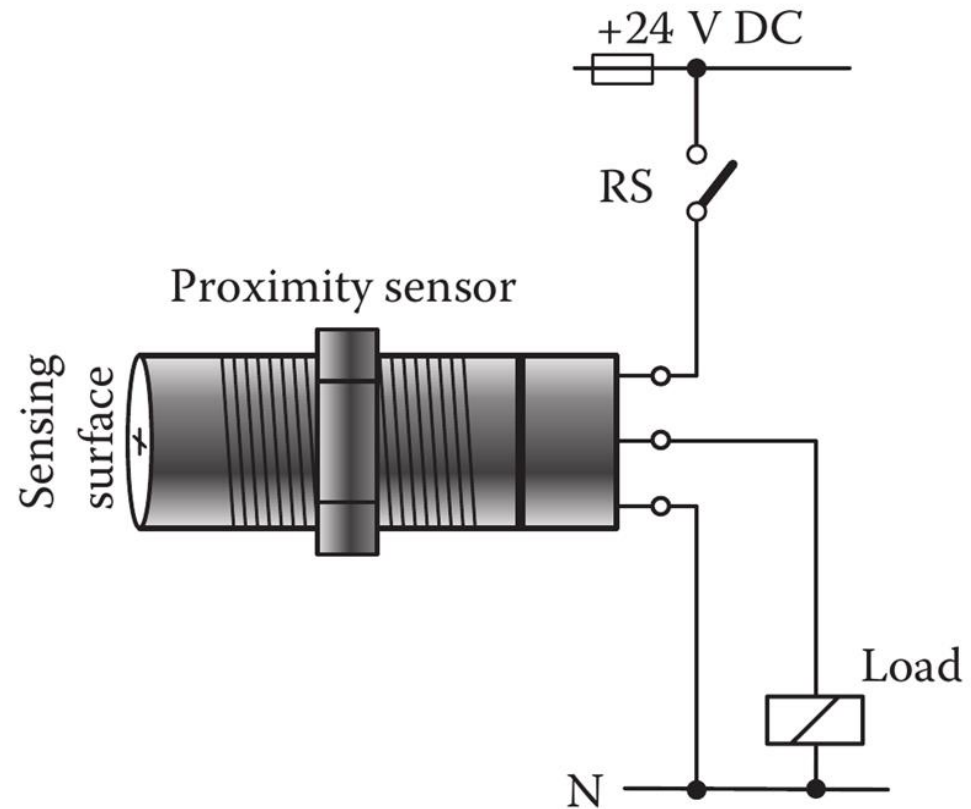
Czujnik zbliżeniowy pojemnościowy

Pojemność jest proporcjonalna do pola powierzchni elektrod i stałej dielektrycznej materiału między nimi, natomiast odwrotnie proporcjonalna do odległości między elektrodami. Gdy obiekt zbliża się do powierzchni wykrywającej, wchodzi w pole elektrostatyczne elektrod i zmienia pojemność obwodu oscylatora, ponieważ obiekt pełni rolę nowego materiału dielektrycznego. Obecność tego zjawiska jest następnie sygnalizowana poprzez sygnał binarny.

Czujnik zbliżeniowy - połączenia



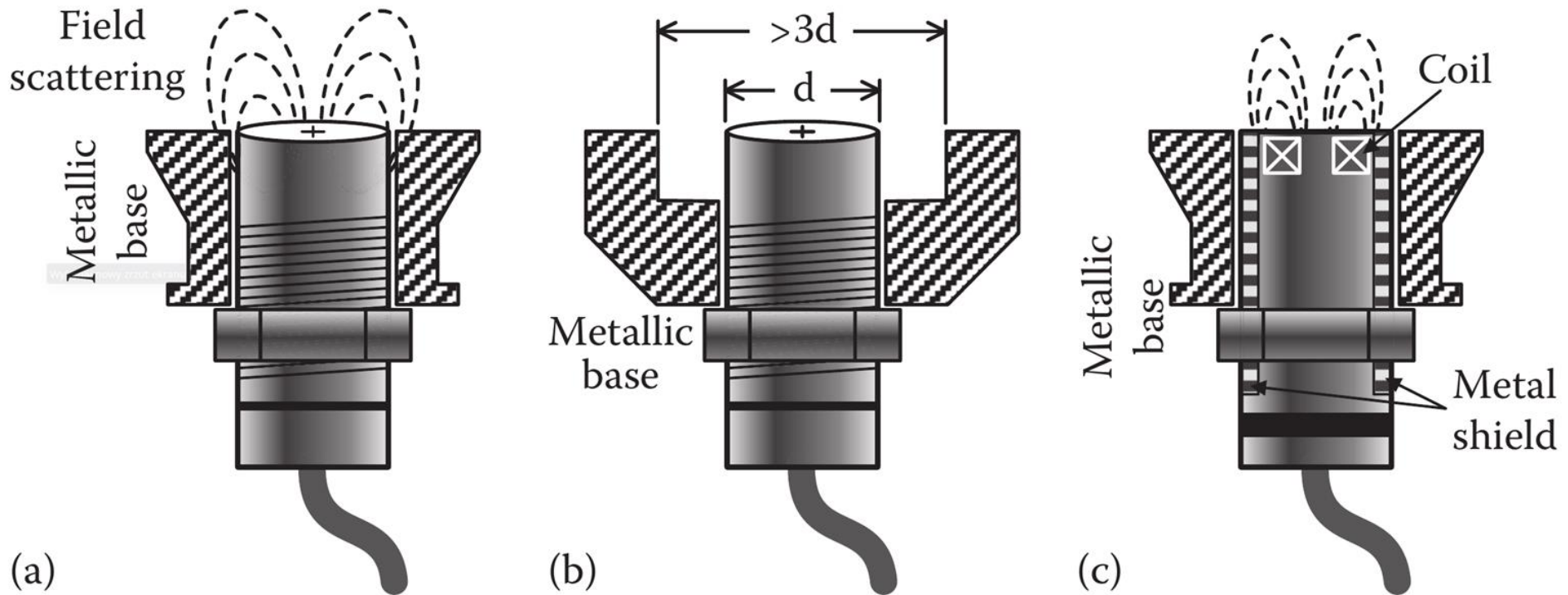
(a)



(b)

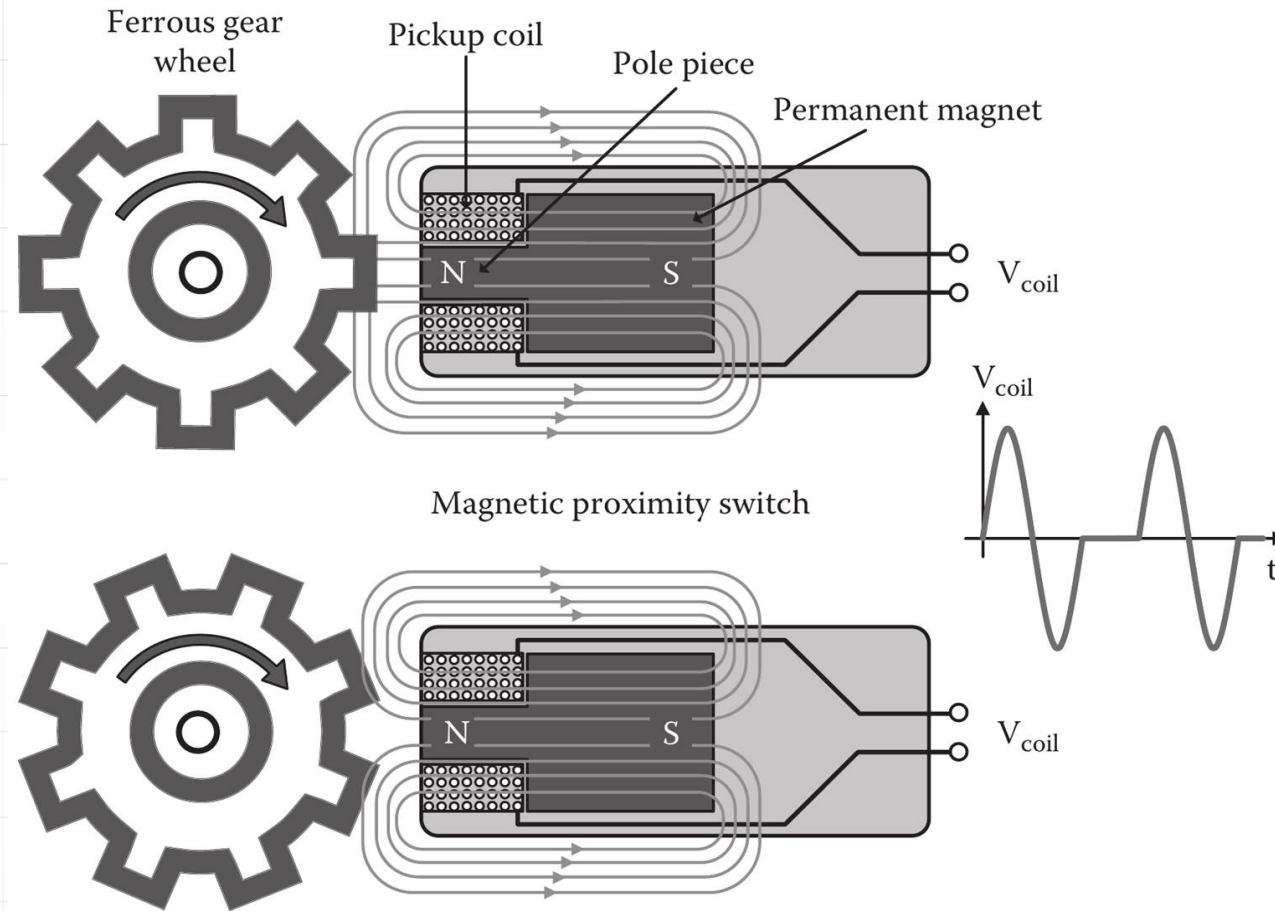
Rys. Obwód elektryczny czujnika zbliżeniowego z (a) połączeniem dwuprzewodowym i (b) połączeniem trójprzewodowym [3]

Czujnik zbliżeniowy - ekran



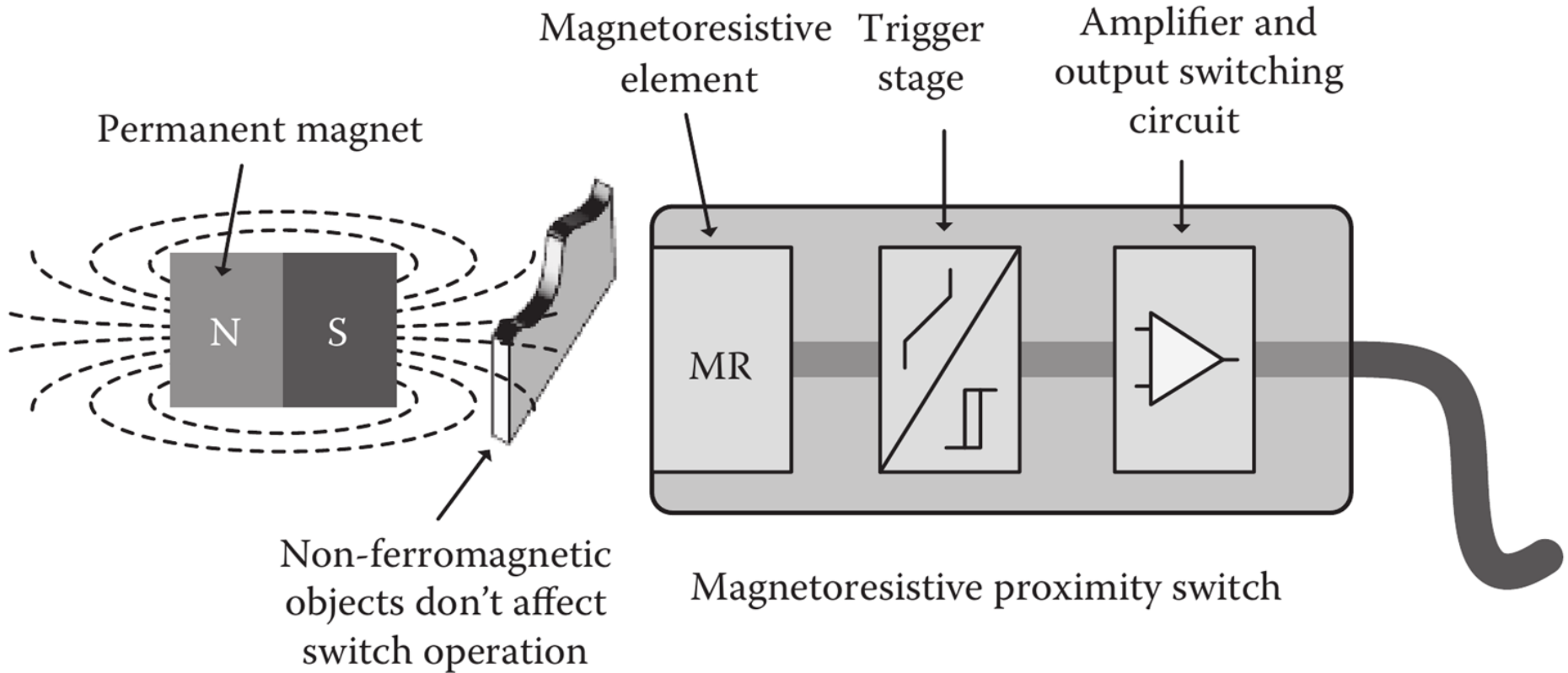
Rys. Otoczenie metaliczne wpływa na działanie nieekranowanego **indukcyjnego** czujnika zbliżeniowego: (a) nieekranowany łącznik powodujący rozpraszanie pola magnetycznego, (b) bezpieczna odległość pozwalająca uniknąć rozpraszania pola, (c) ekranowany łącznik w otoczeniu metalicznym bez rozpraszania [3]

Czujnik zbliżeniowy magnetyczny



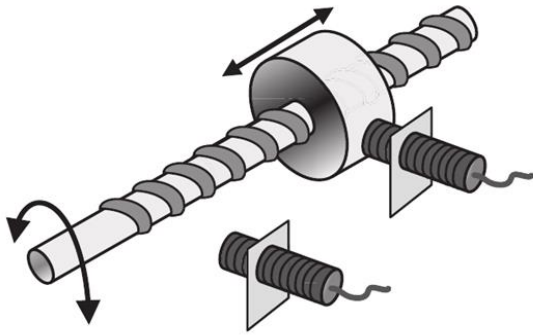
Rys. Typowy magnetyczny czujnik zbliżeniowy o zmiennej reluktancji [3]

Czujnik zbliżeniowy magneto rezystywny

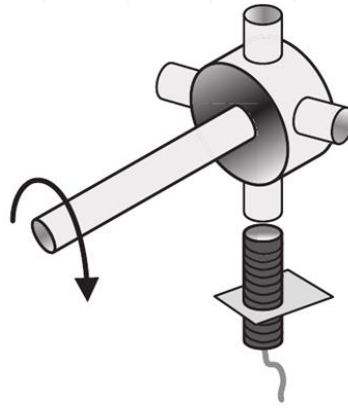


Rys. Magnetyczny czujnik zbliżeniowy oparty na detekcji magneto rezystywnej, gdzie wykorzystywana jest niska lub wysoka rezystancja w wyspecjalizowanym elemencie układu scalonego, w zależności od istnienia lub braku pola magnetycznego [3]

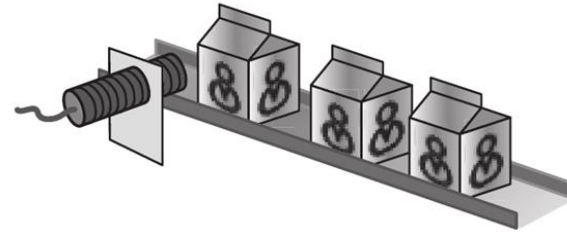
Czujniki zblizeniowe - zastosowania



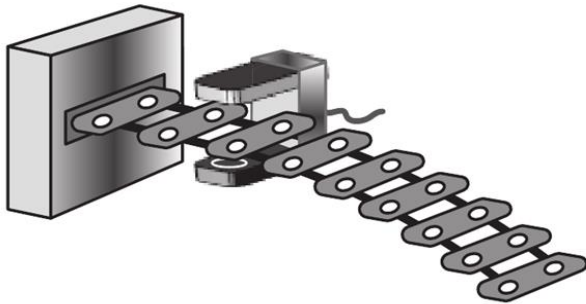
Position control



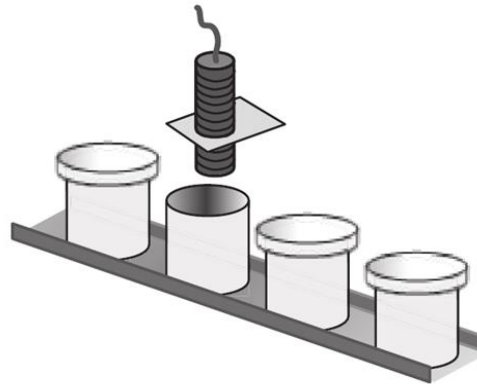
Pulses generation synchronized with the rotation of the shaft



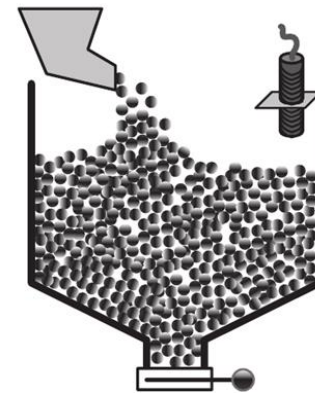
Object counting



Slot type proximity switch for monitoring of production continuity



Detection of faulty objects for rejection



Controlling fill level of granular solids

Fotokomórki

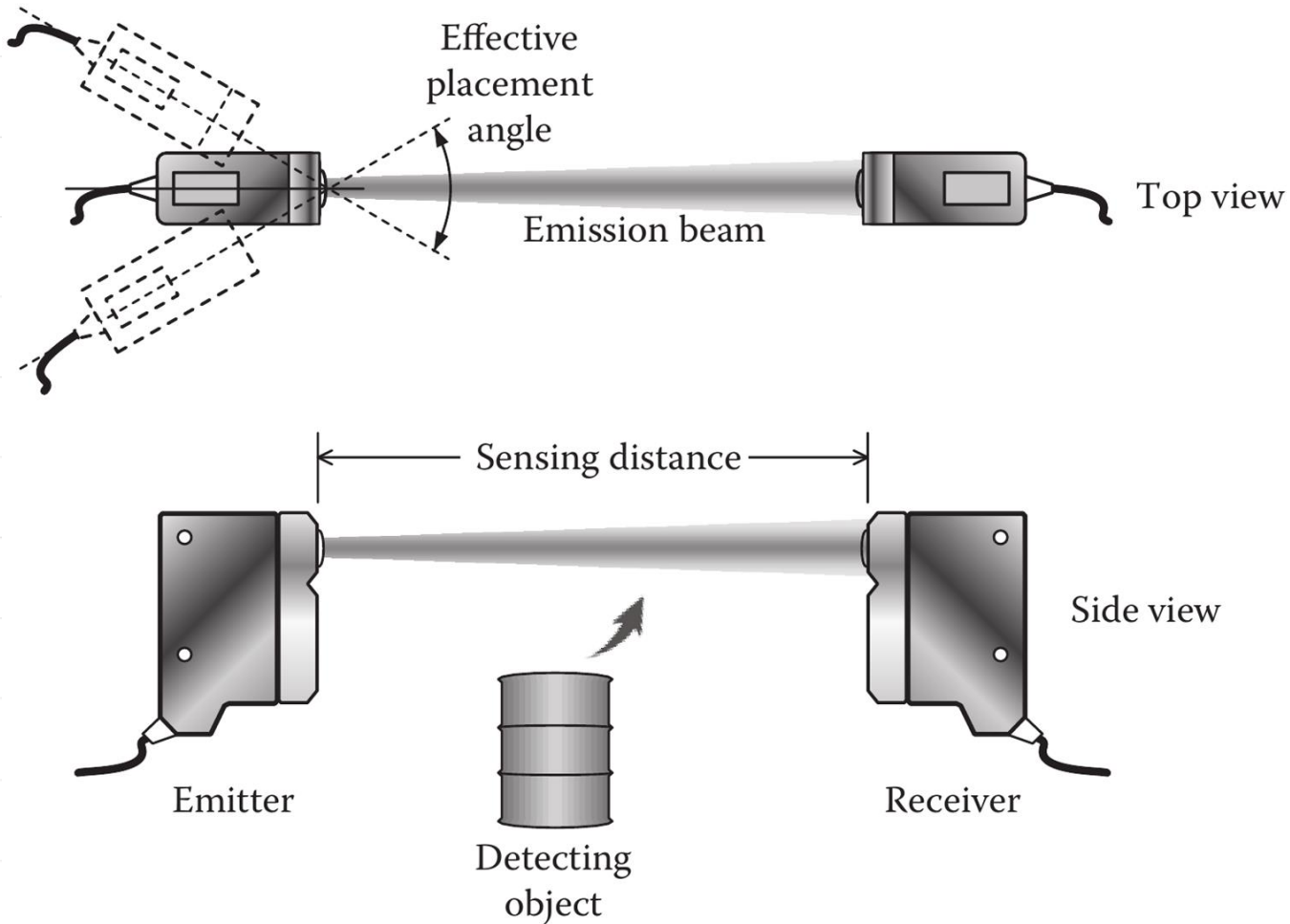
Inaczej czujniki fotoelektryczne, które realizują bezdotykową detekcję za pomocą wiązki światła widzialnego lub podczerwonego, która może zostać przerwana przez obiekt. Przerwanie wiązki jest wykrywane przez odpowiedni odbiornik, co sygnalizowane jest sygnałem binarnym.

Fotokomórki



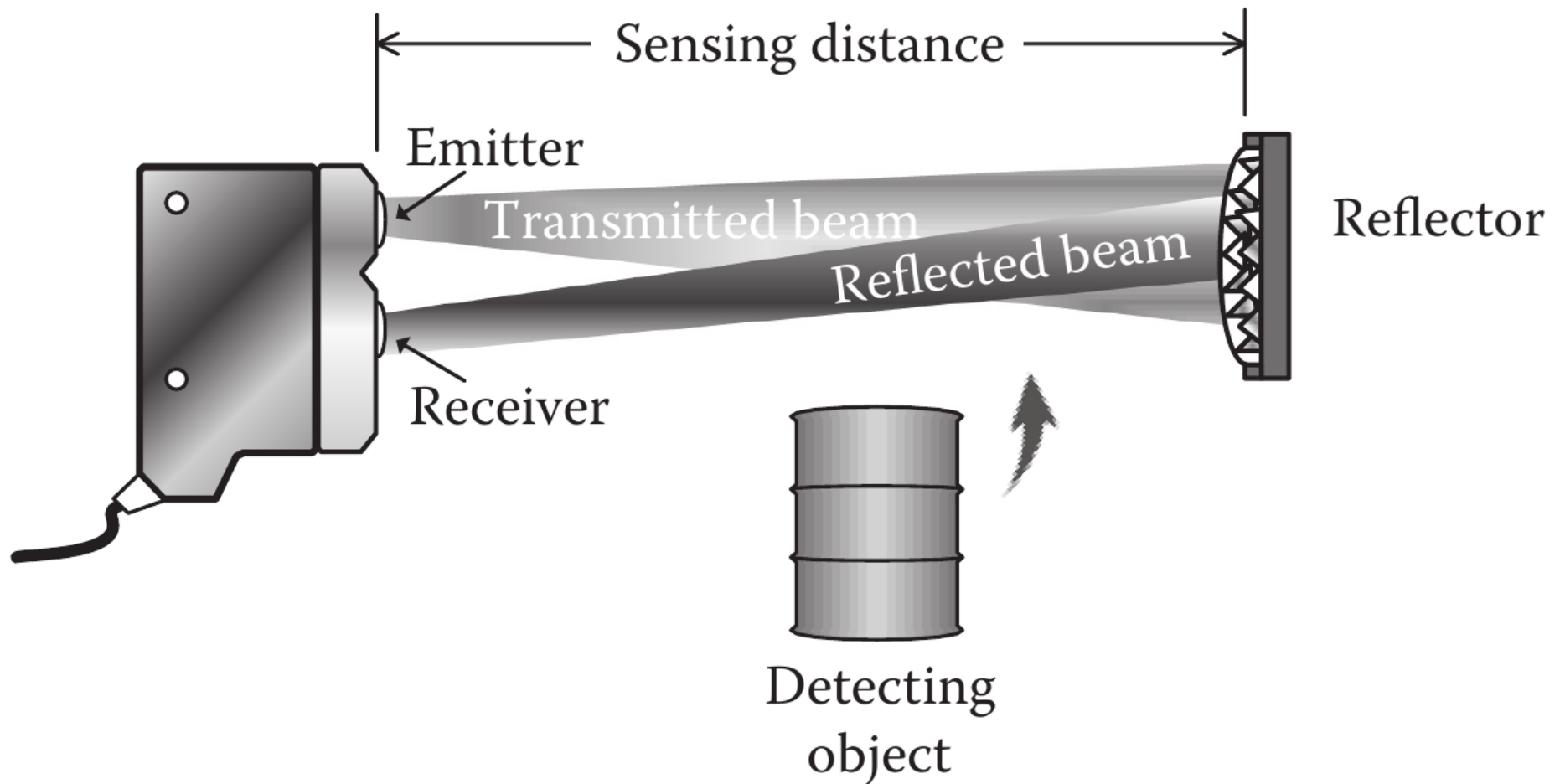
Rys. Wygląd zewnętrzny typowej fotokomórki [3]

Fotokomórki bezodbiciowe



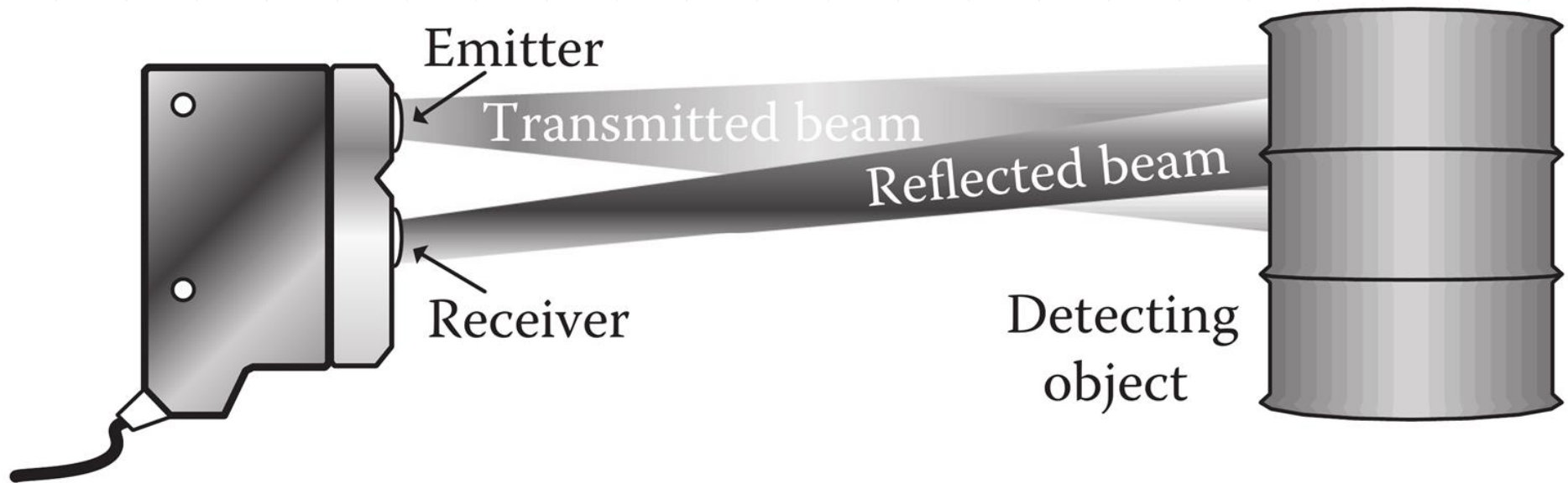
Rys. Promień fotokomórki bezodbiciowej bezpośrednio trafia do odbiornika; fotokomórkę cechuje stosunkowo długi zasięg [3]

Fotokomórki reflektorowe





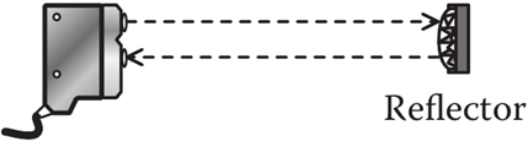
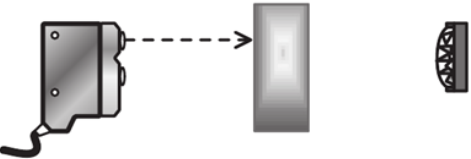
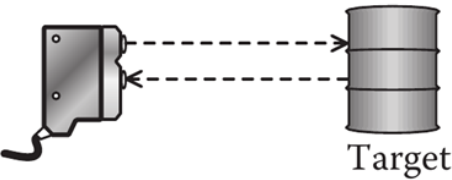
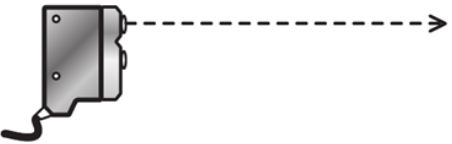
Rys. Fotokomórka reflektorowa (*retro-reflective*) [3]

Fotokomórki dyfuzyjne



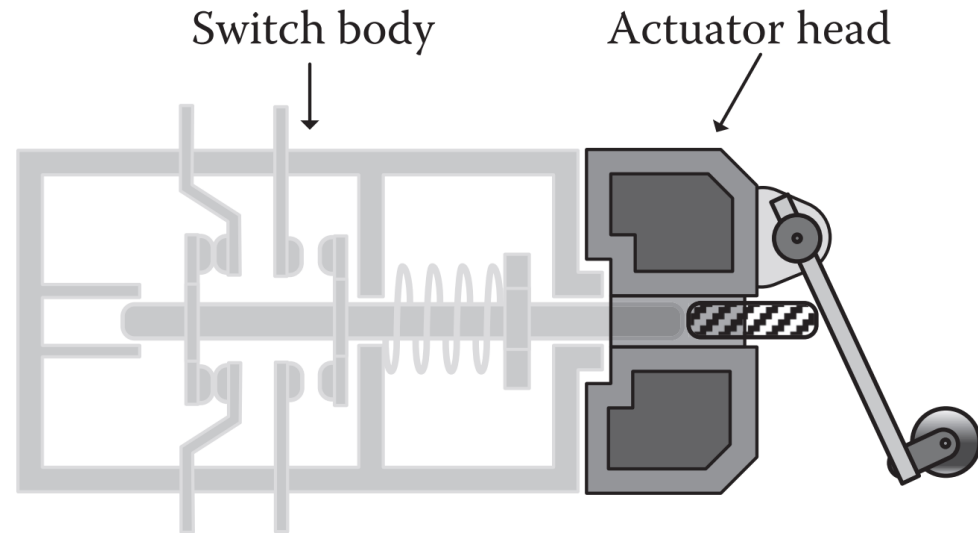
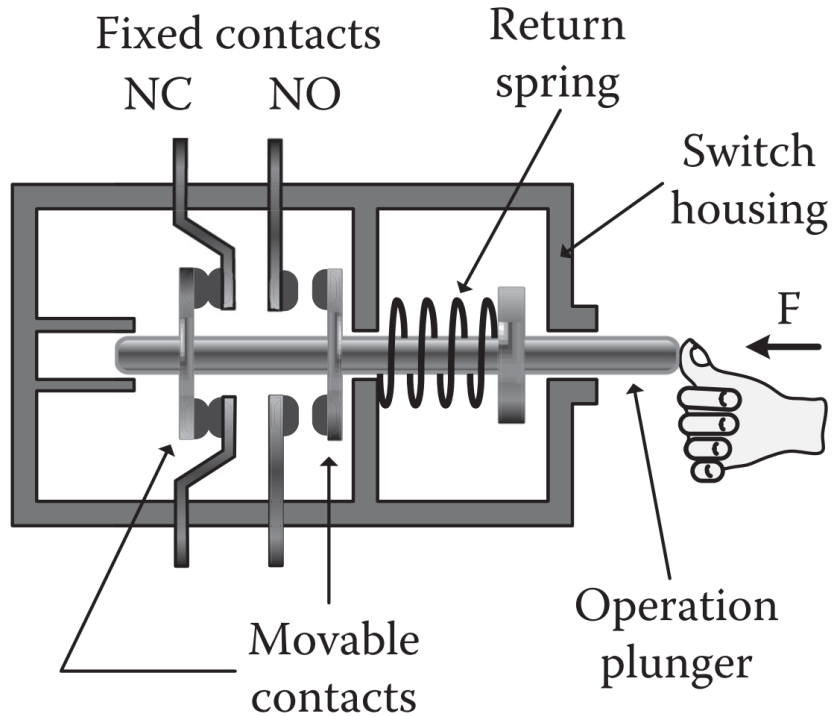
Rys. Fotokomórka dyfuzyjna (*diffuse-reflective*) [3]

Fotokomórki

<i>Photoelectric Switch Type</i>	<i>Light ON</i>	<i>Dark ON</i>
Through beam		
Retro-reflective		
Diffuse reflective		

Rys. Tryby pracy *Dark-ON* i *Light-ON* [3]

Wyłączniki krańcowe (*limit switches*)

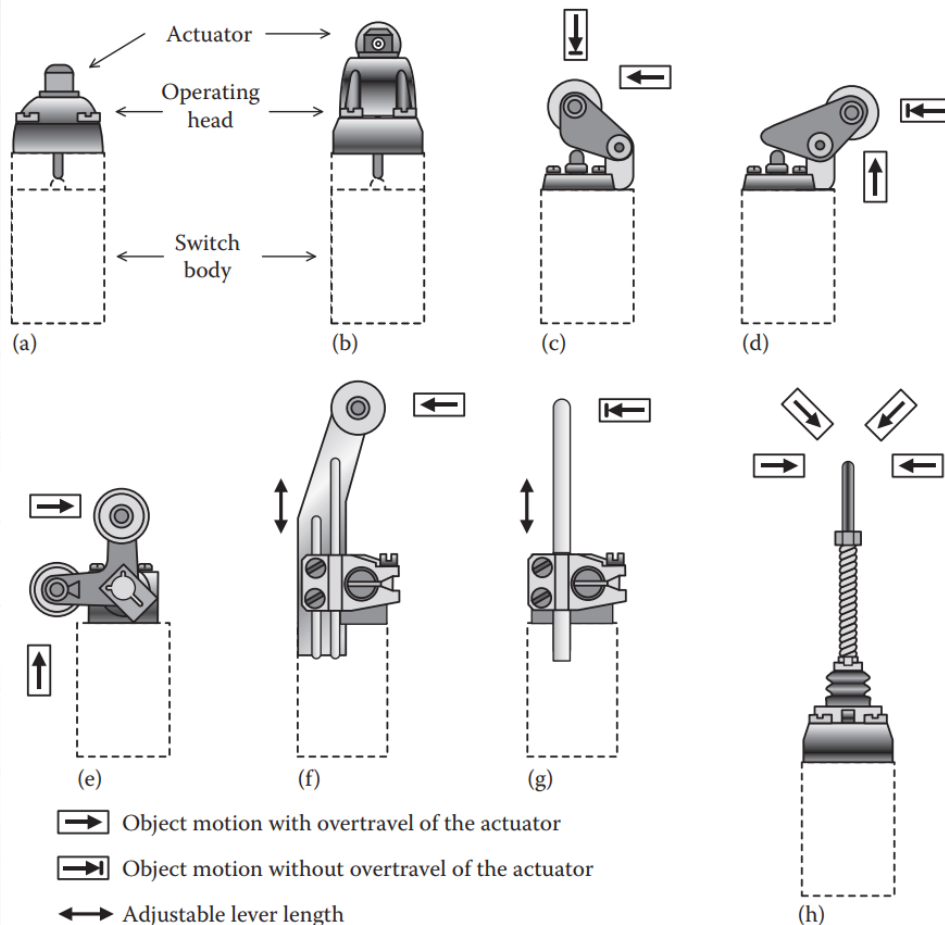


(a)

(b)

Rys. Typowa postać wyłącznika krańcowego z (a) widokiem wnętrza korpusu wyłącznika oraz (b) korpusem wyłącznika wyposażonym w głowicę uruchamiającą [3]

Wyłączniki krańcowe



Rys. Różne typy głowic uruchamiających do odpowiedniego przenoszenia siły zewnętrznej na mechanizm przełączający, a tym samym sprzęgania styku ruchomego (a) trzpień dociskowy, (b) trzpień rolkowy, (c) trzpień dźwigni rolkowej (ruch od przodu lub z boku), (d) trzpień dźwigni rolki (ruch od tyłu lub z boku), (e) typ widełkowy, (f) regulowane ramię rolki, (g) regulowany drążek, oraz (h) sprężysty drążek elastyczny [3]

Sygnalizatory poziomowe (*level switches*)

Służą do detekcji, czy określony poziom cieczy lub materiału sypkiego w zbiorniku został osiągnięty.

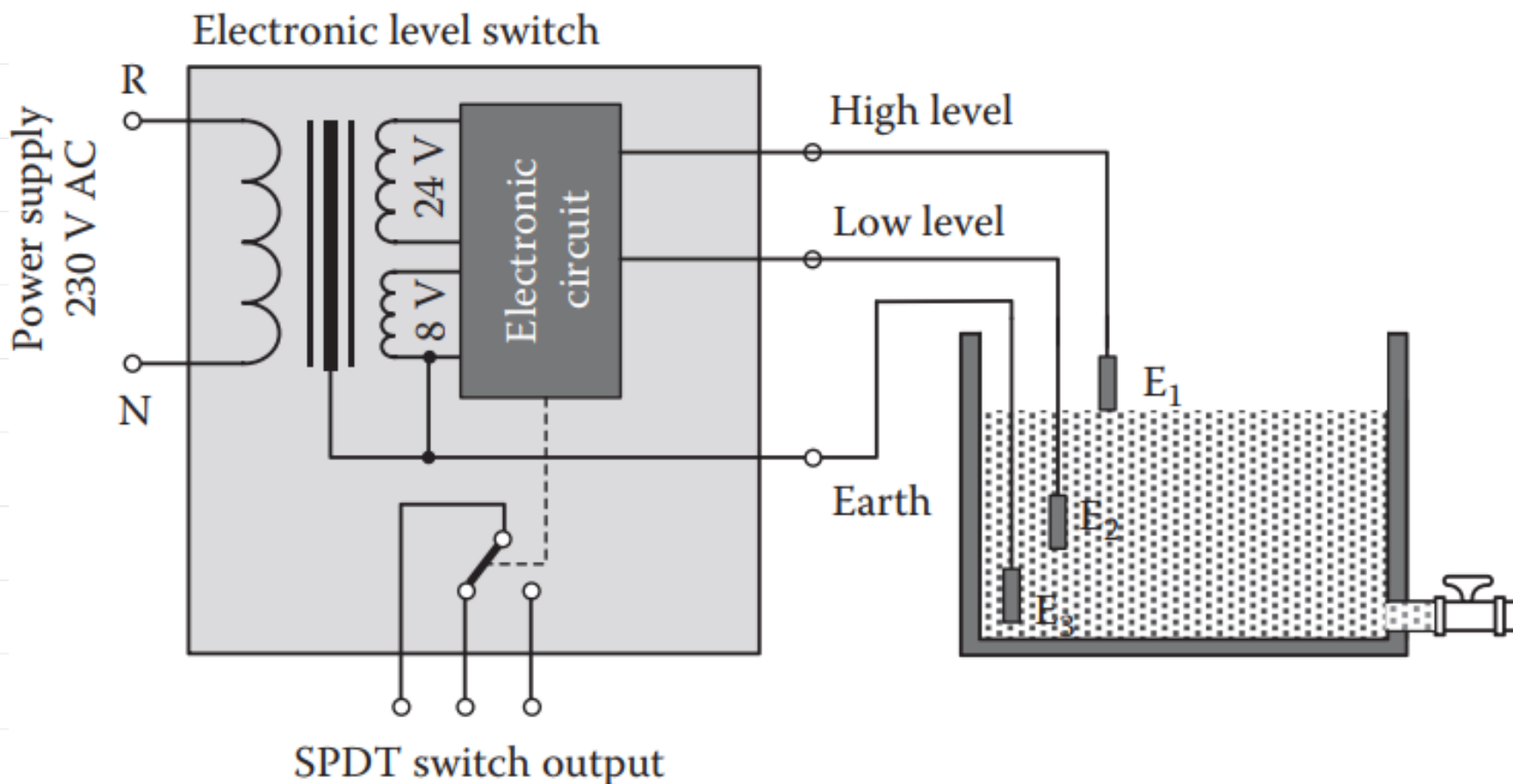
Wyróżniamy m.in.:

- Elektryczne sygnalizatory poziomowe dla cieczy przewodzących
- Pojemnościowe sygnalizatory poziomowe
- Ultradźwiękowe czujniki poziomu
- Radarowe czujniki poziomu
- Pływakowe sygnalizatory poziomowe
- Optyczne sygnalizatory poziomowe

Elektryczne sygnalizatory poziomowe dla cieczy przewodzących

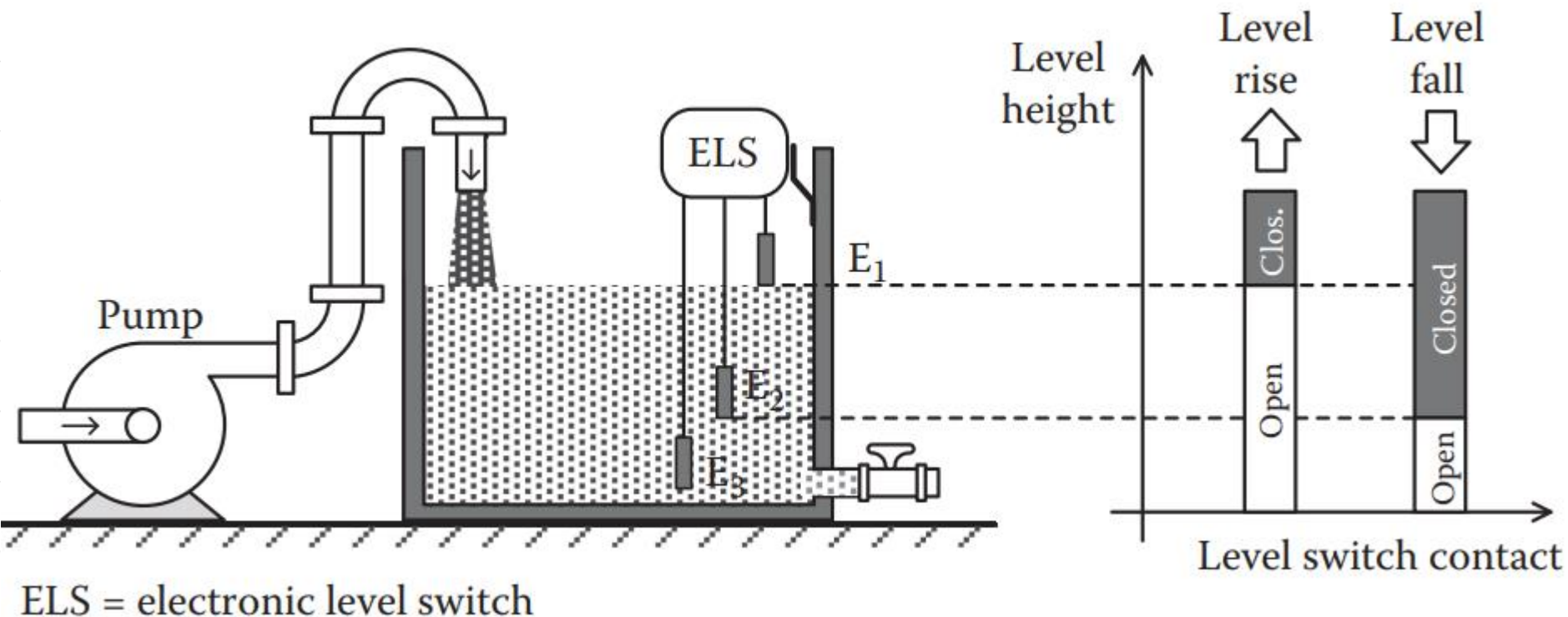
- Wykorzystują elektrody ze zmiennym napięciem w celu uniknięcia zjawisk elektrolitycznych.

Sygnalizatory poziomowe dla cieczy przewodzących



Rys. Elektroniczny wyłącznik poziomowy z zanurzanymi elektrodami dla cieczy przewodzących [3]

Sygnalizatory poziomowe dla cieczy przewodzących

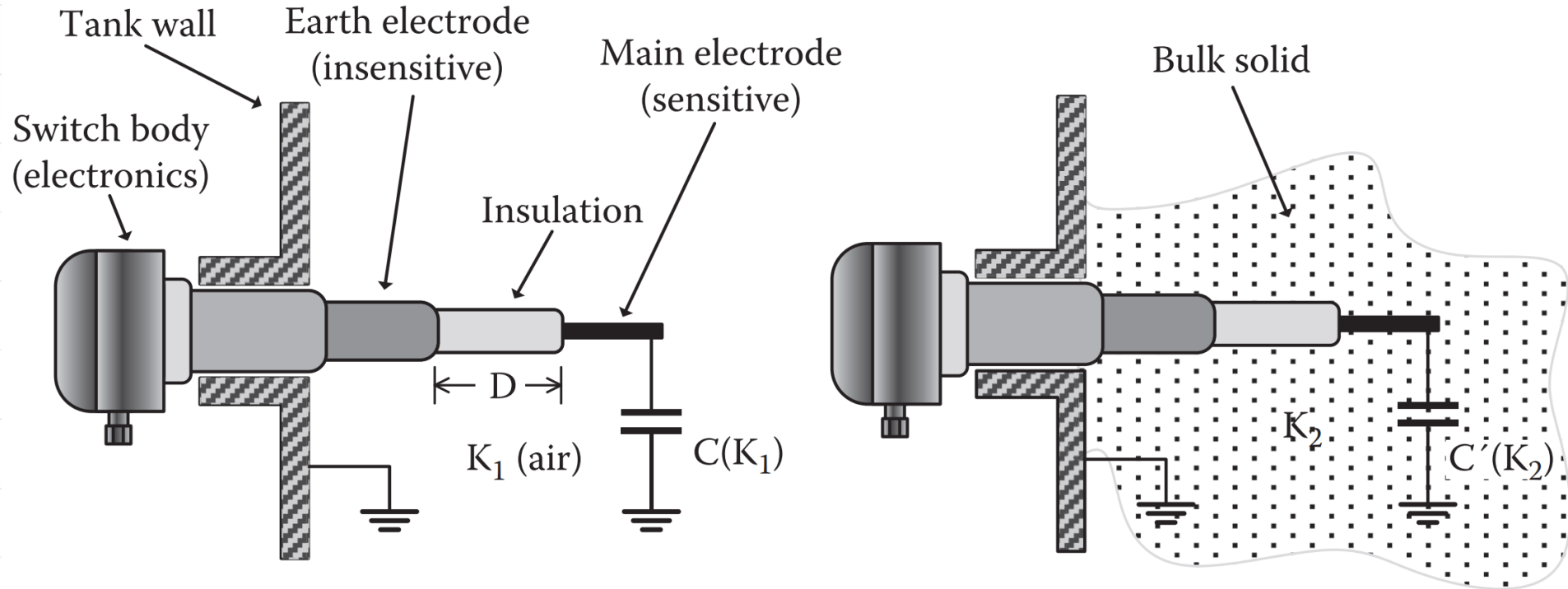


Rys. Zachowanie wyłącznika poziomowego dla cieczy przewodzących przy zanurzeniu i wynurzeniu [3]

Pojemnościowe sygnalizatory poziomowe

- Są przeznaczone dla cieczy nieprzewodzących oraz ciał stałych.

Pojemnościowe sygnalizatory poziomowe

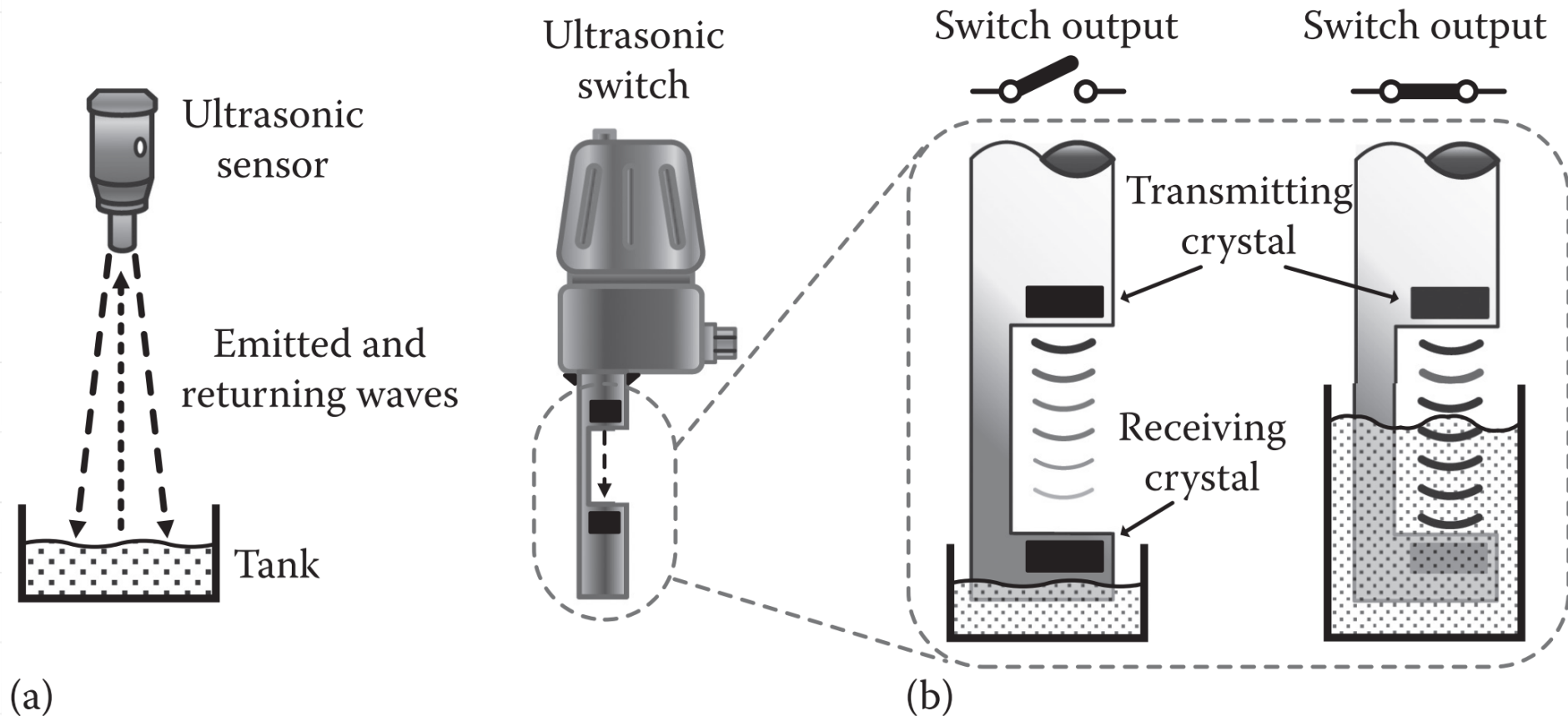


Rys. Pojemnościowy sygnalizator poziomy do bezpośredniego kontaktu z materiałami sypkimi i cieczami [3]

Ultradźwiękowe czujniki poziomu

- Wykorzystują falę dźwiękową 30 kHz do 200 kHz i pomiar czasu potrzebnego do powrotu ultradźwięku odbitego od materiału. Mają zasięg ponad 15 m.

Ultradźwiękowe czujniki poziomu

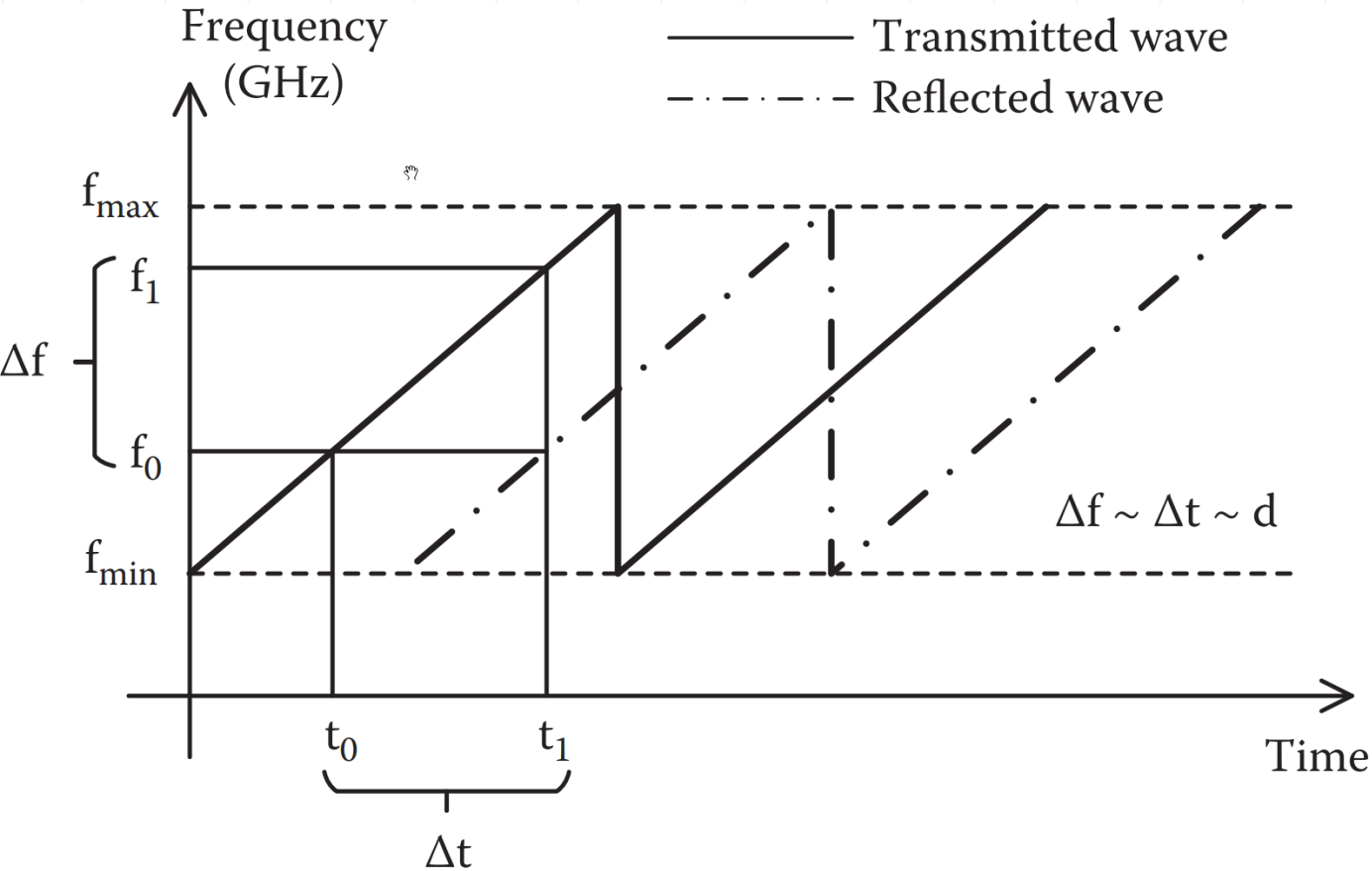


Rys. Czujnik ultradźwiękowy do bezkontaktowego pomiaru poziomu (a) i przełącznik ultradźwiękowy do detekcji kontaktowej (b) [3]

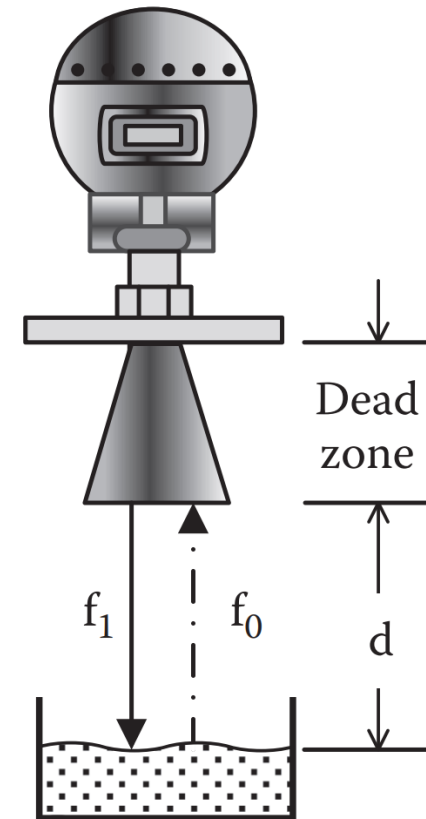
Radarowe czujniki poziomu

- Wykorzystują metodę fali ciągłej z modulacją częstotliwości.
- Sygnał radarowy emitowany przez antenę w kierunku powierzchni cieczy jest sygnałem mikrofalowym o ciągle zmieniającej się częstotliwości.
- Kiedy odbity sygnał wraca do odbiornika, jest porównywany z sygnałem wychodzącym. Wtedy, odległość jest obliczana na podstawie różnicy częstotliwości.

Radarowe czujniki poziomu

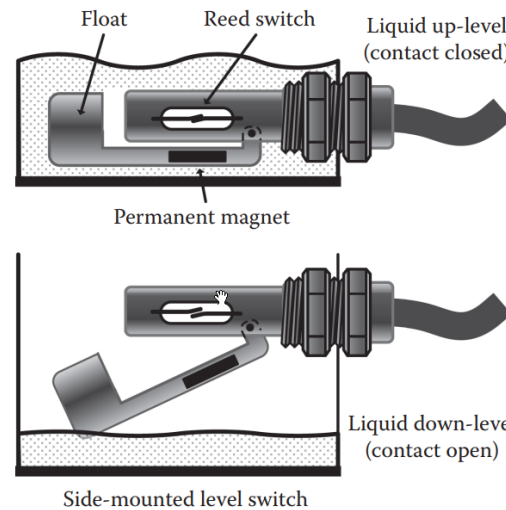


Radar level sensor

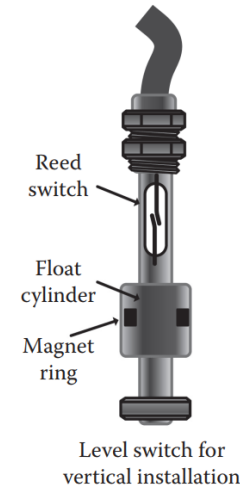


Rys. Zasada działania radarowego czujnika poziomu [3]

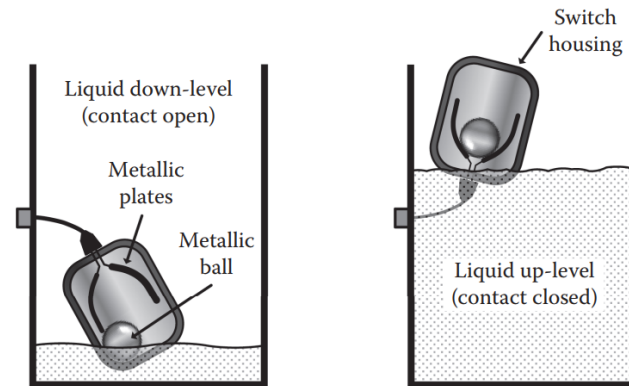
Pływakowe sygnalizatory poziomowe



(a)



(b)



(c)

Silver alloy-contact float switch

Rys. Różne rodzaje pływakowych przełączników poziomu: przełącznik poziomu z przekaźnikiem magnetycznym i kontaktronem do (a) montażu na ścianie bocznej, (b) ustawienia pionowego oraz (c) pływakowy przełącznik poziomu z metalowymi płytkami i kulką w dwóch możliwych stanach [3]

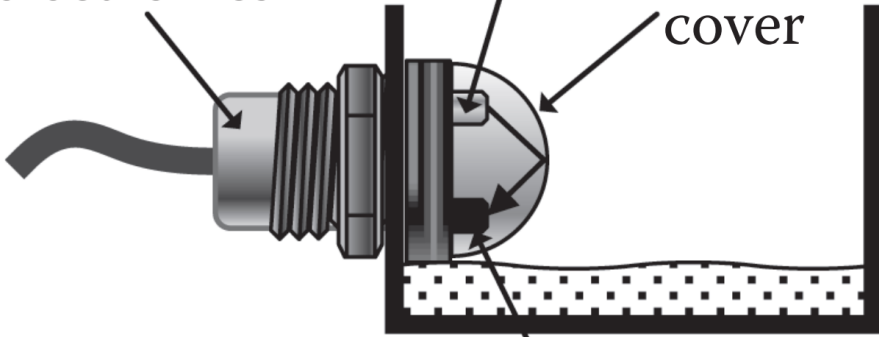
Optyczne sygnalizatory poziome

- Optyczny sygnalizator poziomu może wykrywać poziom przezroczystych cieczy, a jego zasada działania opiera się na załamaniu światła podczerwonego przez ciecz.
- Ze względu na bardzo małe wymiary nadaje się do montażu w małych urządzeniach ogólnego użytku lub zawierających małe naczynia z wodą lub inną przezroczystą cieczą.

Optyczne sygnalizatory poziomowe

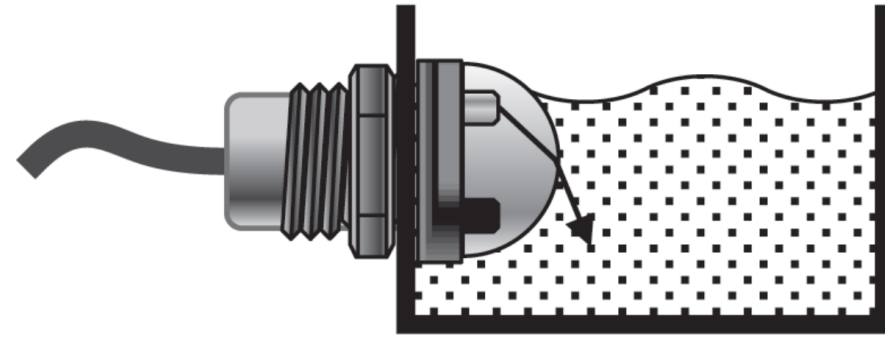
Switch case
and
electronics

Photodiode
Prism type
cover



Phototransistor

(a)



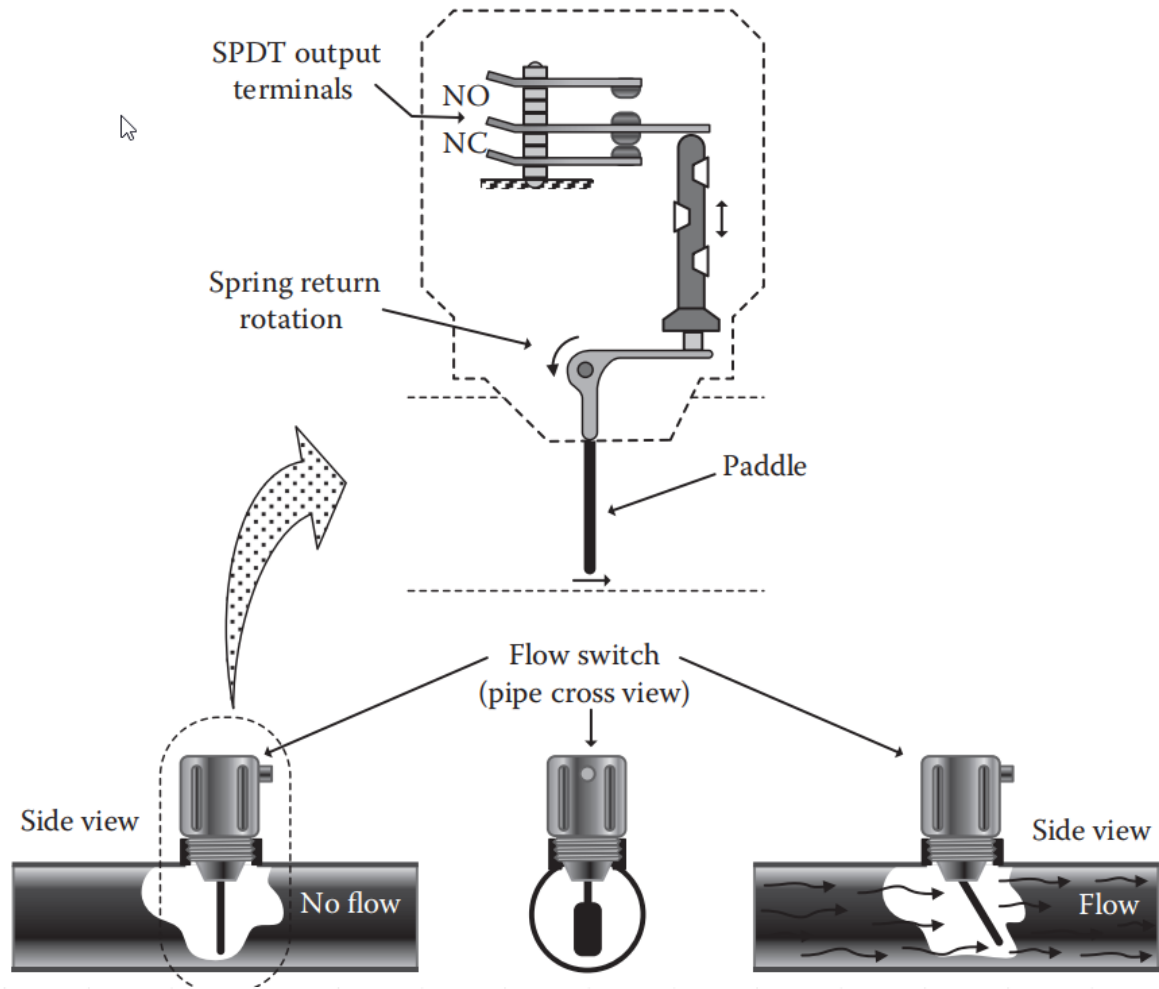
(b)

Rys. Optyczny sygnalizator poziomu w stanie braku załamania (a), oraz załamania w stanie ciekłym (b) [3]

Sygnalizatory przepływu

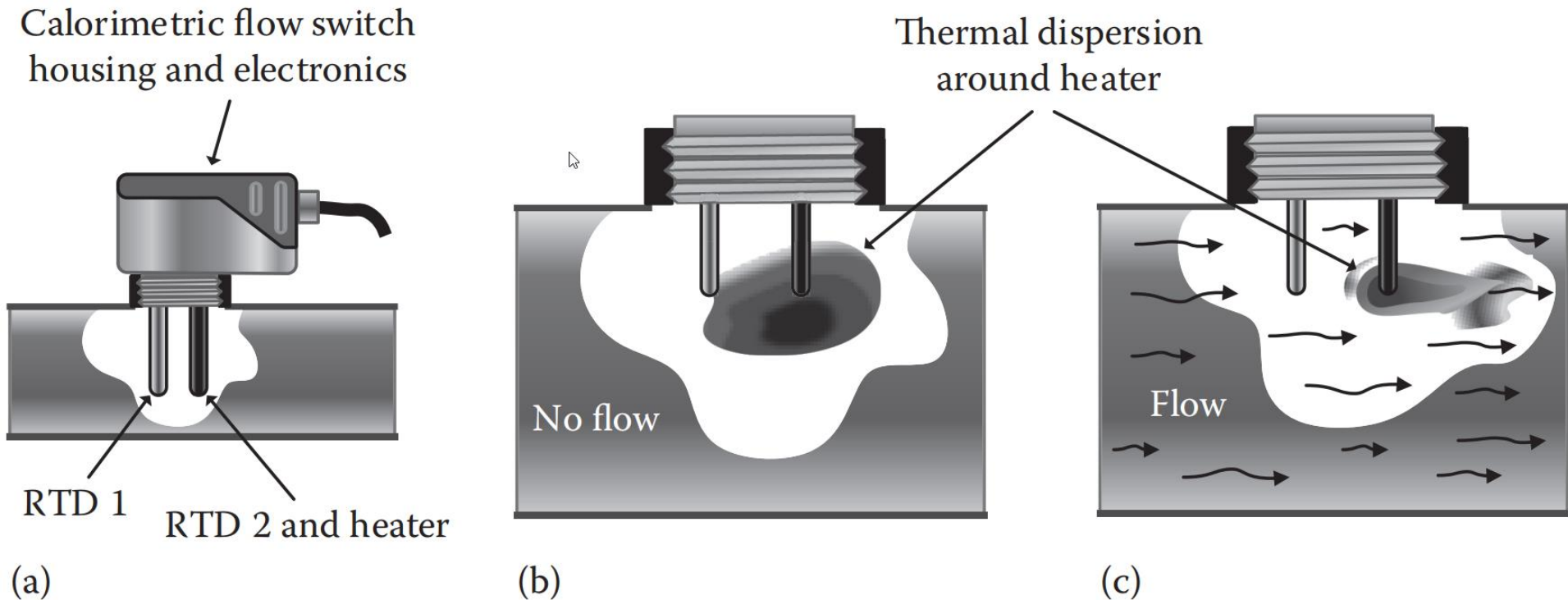
- Służą do detekcji, czy w rurze płynie ciecz.
- Na przykład układ chłodzenia łożysk dużej, mocno obciążonej maszyny wymaga monitorowania przepływu w celu zapewnienia cyrkulacji wody.
- Rozróżniamy:
 - łopatkowe sygnalizatory przepływu cieczy
 - Sygnalizatory przepływu korzystające z dyspersji termicznej

Łopatkowe przełączniki przepływu cieczy



Rys. Budowa łopatkowego przełącznika przepływu cieczy [3]

Sygnalizatory przepływu korzystające z dyspersji termicznej



Rys. Kalorymetryczny sygnalizator przepływu zamontowany na rurze (a), dyspersja termiczna wokół jego sondy grzejnej dla płynu w spoczynku (b) i dla istnienia przepływu (c) [3]

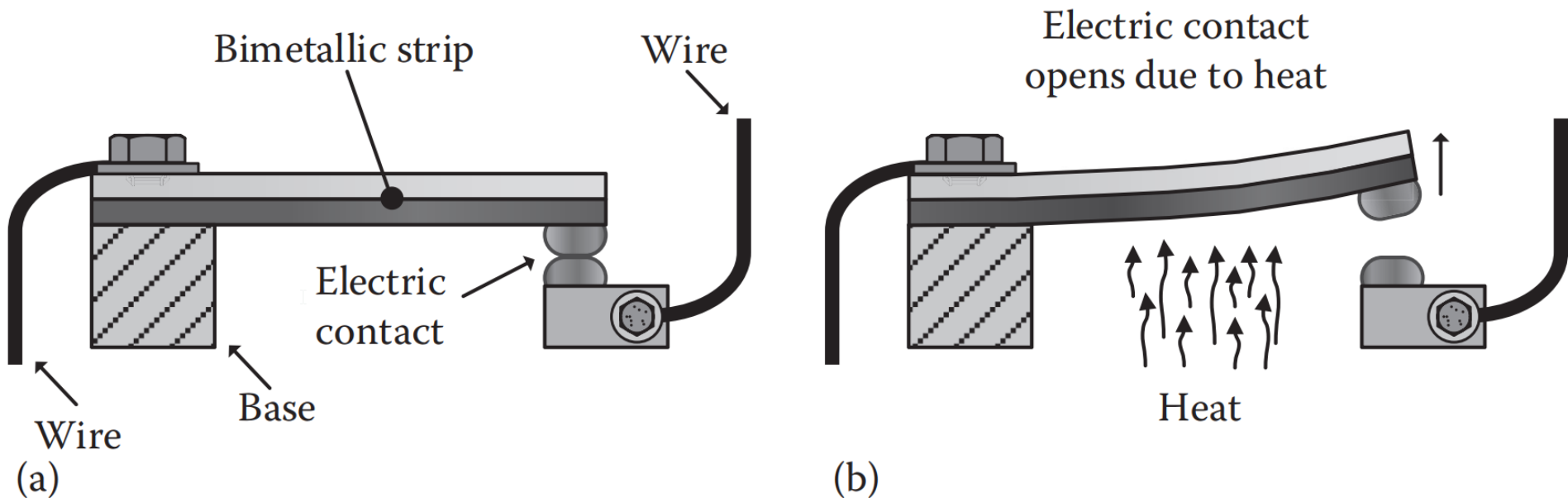
Sygnalizatory przepływu korzystające z dyspersji termicznej

- Taki sygnalizator składa się z dwóch rezystorowych czujników temperatury (RTD) oraz obudowy z elektroniką. Nieogrzewany czujnik RTD 1 mierzy temperaturę płynu w miejscu zanurzenia sondy. Czujnik RTD 2 jest ogrzewany poprzez wbudowaną grzałkę o stałej, małej mocy i tym samym mierzy temperaturę grzałki. Powoduje to powstanie różnicy temperatur między tymi dwoma czujnikami, która zmienia się w zależności od istnienia lub braku przepływu, ponieważ przepływający czynnik chłodzi ogrzany czujnik. Różnica ta jest przetwarzana na sygnał wyjściowy sygnalizatora.
- Brak części mechanicznych.
- Można je niezawodnie stosować w prawie każdej cieczy lub gazie.
- W porównaniu z tradycyjnym sygnalizatorem typu łopatkowego, przełączniki przepływu z dyspersją termiczną oferują wyższą czułość i brak ograniczeń w miejscach instalacji, a jednocześnie są w stanie reagować przy niskich natężeniach przepływu.

Sygnalizatory i czujniki temperatury

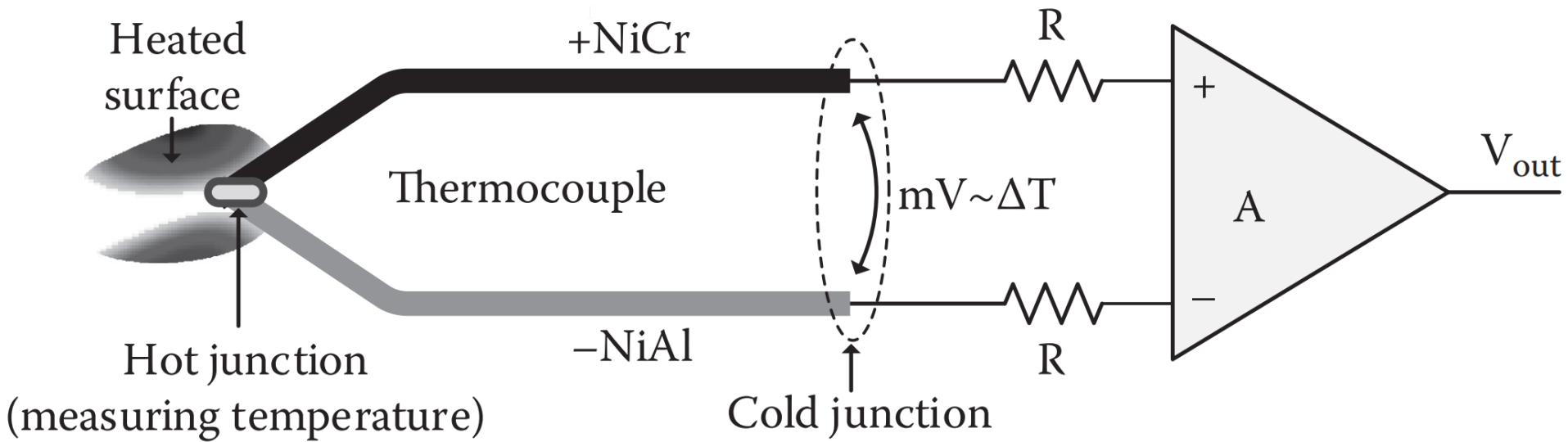
- Służą do detekcji, czy temperatura przekroczyła pewien poziom.
- Jest bardzo wiele rodzajów takich sygnalizatorów. Do najpopularniejszych należą:
 - Bimetaliczny sygnalizator temperatury (termostat)
 - Termopara
 - Rezystancyjne czujniki temperatury
 - Termistory
 - Czujniki temperatury wykorzystujące podczerwień
 - Półprzewodnikowe czujniki temperatury

Bimetalliczny sygnalizator temperatury (termostat)



Rys. Bimetalowy przełącznik temperatury: (a) styk elektryczny jest zamknięty w normalnej temperaturze, oraz (b) styk elektryczny otwiera się w wysokiej temperaturze [3]

Termopara



Rys. Termopara jako element zasadniczy w czujniku termicznym lub sygnalizatorze [3]

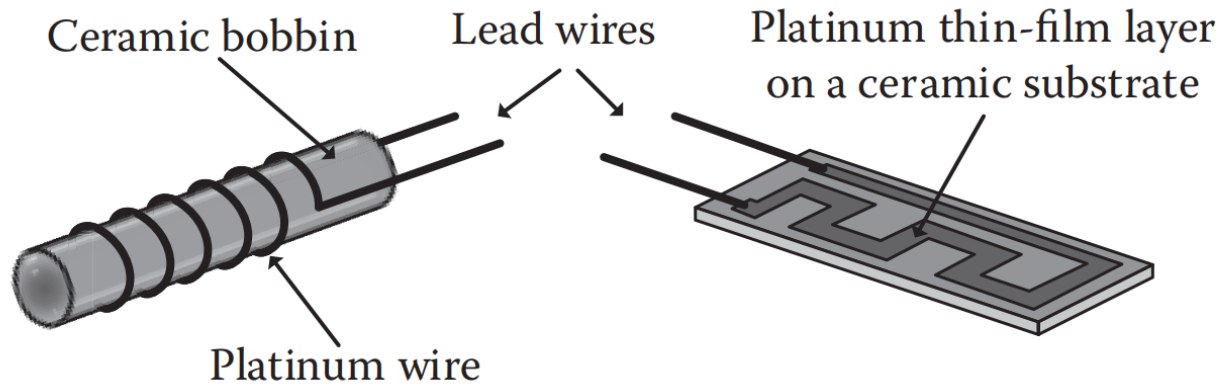
Termopara

- Wykonana przez połączenie dwóch różnych metali lub stopów na jednym końcu.
- Dwa rozłączne końce tych różnych metali reprezentują złącze, które jest utrzymywane w stałej temperaturze, zwane „zimnym złączem”, podczas gdy drugie złącze, zwane „gorącym złączem”, stanowi element pomiarowy, który styka się z badanym obszarem.
- Zasada działania termopary opiera się na dobrze znanym „zjawisku Seebecka”, zgodnie z którym małe napięcie (kilka mV) powstaje między dwoma zaciskami zimnego złącza, gdy występuje różnica temperatur między dwoma złączami (zimnym i gorącym). Różnica temperatur jest wzmacniana i zamieniana na sygnał wyjściowy czujnika bądź sygnalizatora.
- W termoparach stosuje się różne kombinacje metali w zależności od możliwego zakresu temperatur. Na przykład kombinacja niklowo-chromowo-niklowo-aluminiowa (typ K) jest odpowiednia do wykrywania w zakresie temperatur od -200°C do 1250°C . Dwa inne rodzaje szeroko stosowanych materiałów termoparowych to żelazo-konstantan (typ J) i miedź-konstantan (typ T).
- Bardzo mały rozmiar, pozwalający na umieszczenie termopar w małych przestrzeniach.

Rezystancyjne czujniki temperatury

- Wykorzystują zależność rezystancji od temperatury.
- Budowane z metali przewodzących, takich jak platyna, miedź lub nikiel.
- Najczęściej wykorzystywana jest platyna.
- Czujnik temperatury PT100 jest powszechnie dostępny na rynku. Ma standardową wartość rezystancji $100\ \Omega$ przy 0°C i około $140\ \Omega$ przy 100°C i może pracować w zakresie temperatur od -200°C do 850°C . Istnieją również PT500 i PT1000 dla wyższych rezystancji pomiarowych.
- Obarczone problemem rezystancji przewodów i samo-grzania. Problemy te można częściowo rozwiązać za pomocą mostka Wheatstone'a (połączenie dwuprzewodowe). Lepsze rezultaty dają połączenia trój- i czteroprzewodowe.

Rezystancyjne czujniki temperatury

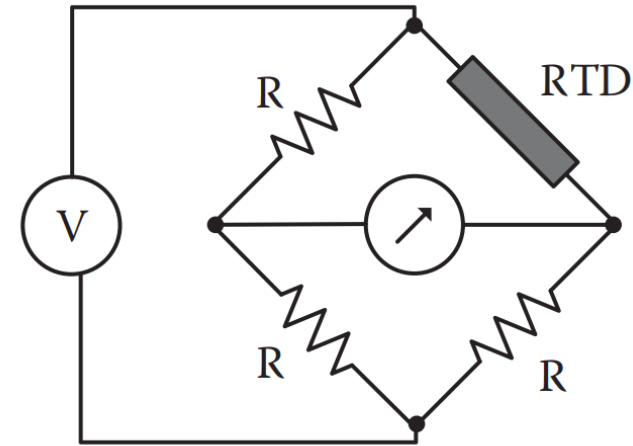


Wire-wound
RTD element

(a)

Thin-film
RTD element

(b)

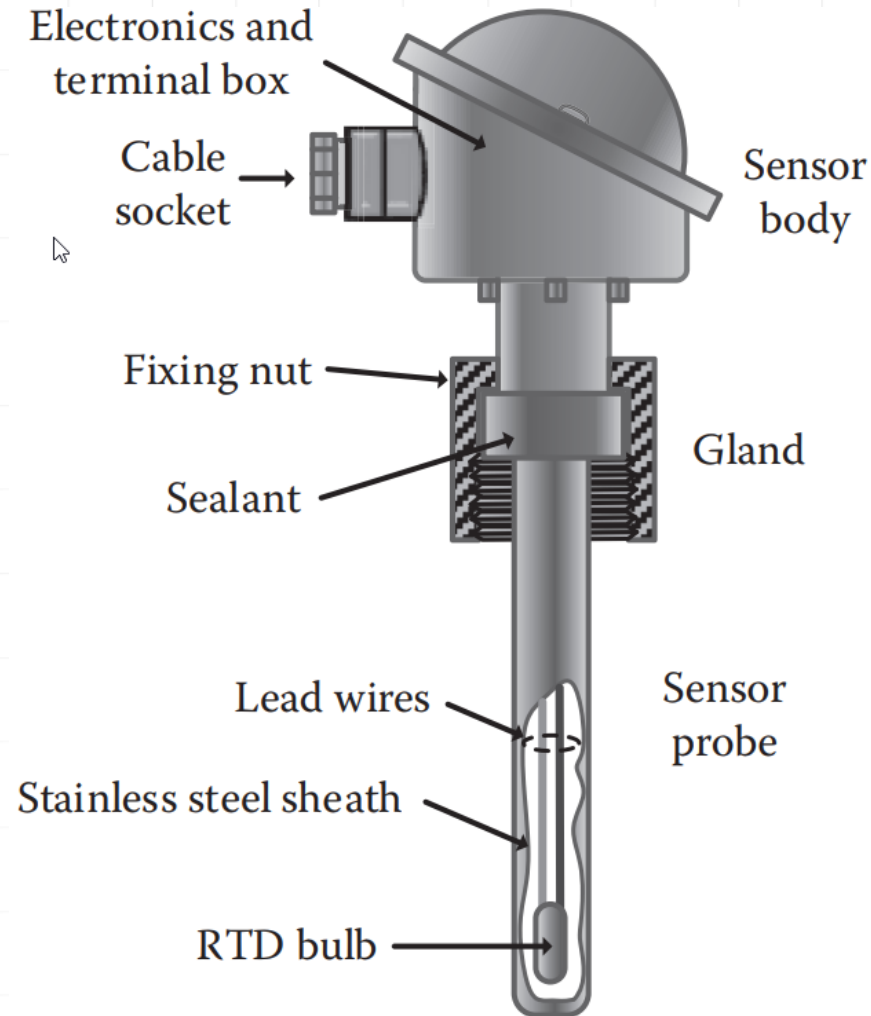


Wheatstone bridge
with one RTD branch

(c)

Rys. Rezystancyjne czujniki temperatury i ich włączenie do obwodu mostka Wheatstone'a: (a) drutowy element RTD, (b) cienkowarstwowy element RTD oraz (c) element RTD podłączony do mostka Wheatstone'a [3]

Rezystancyjne czujniki temperatury



Rys. Typowa forma rezystancyjnego czujnika temperatury [3]

Termistory

- Termistor jest podobny do rezystancyjnego czujnika temperatury, którego rezystancja zmienia się wraz z temperaturą, jednak ma zarówno ujemny lub dodatni współczynnik temperaturowy. Termistor jest wykonany z materiałów półprzewodnikowych typu ceramicznego i wykazuje dużą zmianę rezystancji przy niewielkiej zmianie temperatury.

Czujniki temperatury wykorzystujące podczerwień

- Czujnik temperatury na podczerwień jest bezkontaktowym elektronicznym detektorem promieniowania cieplnego. Mierzy energię podczerwieni emitowaną przez nieruchomy lub poruszający się obiekt w wyniku jego stanu termicznego.

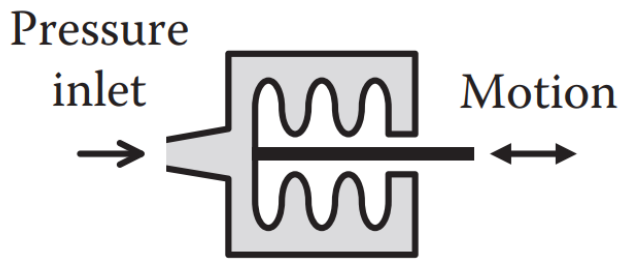
Półprzewodnikowe czujniki temperatury

- Półprzewodnikowy czujnik temperatury jest układem scalonym wykonanym w podobny sposób jak wszystkie inne. Czujniki te są podzielone na różne typy, takie jak napięciowe, prądowe, cyfrowe, diodowe i krzemowe rezystancyjne.
- Najpopularniejszy półprzewodnikowy czujnik temperatury opiera się na podstawowej charakterystyce temperaturowej i prądowej tranzystora. Jeśli dwa identyczne tranzystory działają przy różnych, ale stałych gęstościach prądu kolektora, to różnica ich napięć baza-emiter jest proporcjonalna do bezwzględnej temperatury tranzystorów.

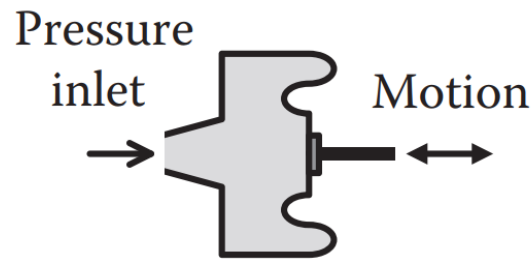
Sygnalizatory i czujniki ciśnienia

- Służą do detekcji, czy ciśnienie przekroczyło pewien poziom.
- Wykorzystują proporcjonalność siły działającej na element do ciśnienia.
- Wyróżniamy czujniki lub sygnalizatory:
 - Mieszkowe
 - Membranowe
 - Tłokowe

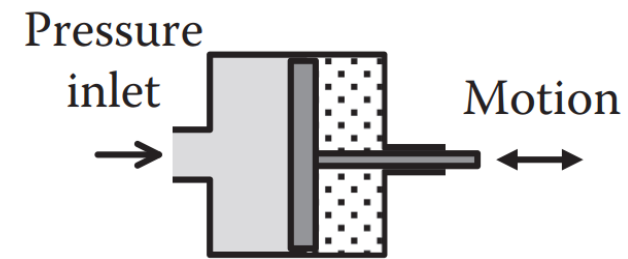
Sygnalizatory i czujniki ciśnienia



(a)



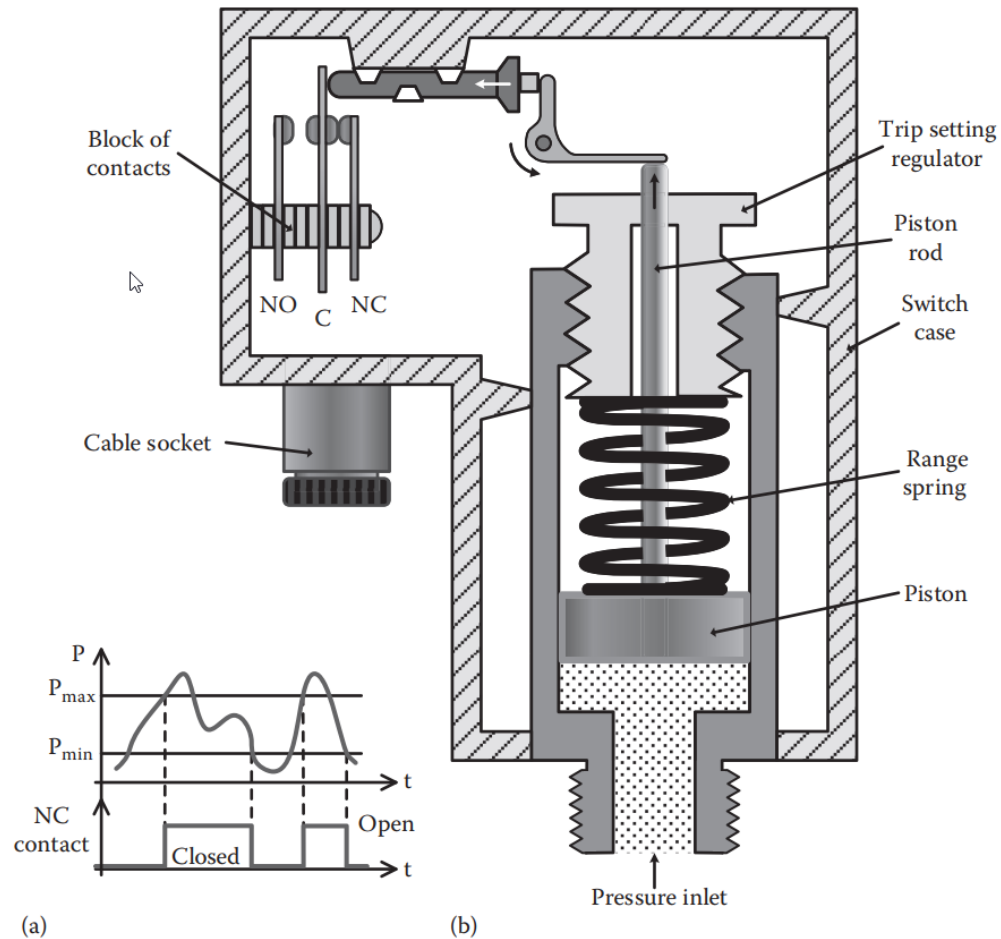
(b)



(c)

Rys. Elementy wykrywające ciśnienie do produkcji ruchu: (a) mieszek, (b) membrana i (c) tłok (przypadek $p_2 = p_{atm}$) [3]

Sygnalizatory ciśnienia



Rys. Losowe zmiany ciśnienia i zachowanie przełącznika NC w sygnalizatorze ciśnienia (a) i nie-różnicowy sygnalizator ciśnienia typu tłokowego (b) [3]

Literatura

- [1] Frank Lamb, *IndustrialAutomation: Hands-On*, McGraw-Hill Education, 2013
- [2] Wikipedia, artykuł *Switch*, użytkownik Super Rad!, dostęp 2023-04-13
- [3] Stamatios Manesis, George Nikolakopoulos, *Introduction to Industrial Automation*, Taylor & Francis Group, 2018