

Bezstykowe czujniki do pomiaru drogi

Wolfgang Bathke, Witold Ober

W artykule przedstawione zostały bezstykowe czujniki przeznaczone do pomiaru drogi. Zaprezentowano pomiar drogi na zasadzie prądów wirowych, czujniki pojemnościowe oraz laserowo-optyczną metodę pomiaru.

Bezstykowe czujniki drogi znajdują oraz częściej zastosowanie w przypadku trudnych problemów pomiarowych. W praktyce pomiar bezstykowy wykorzystuje się, gdy:

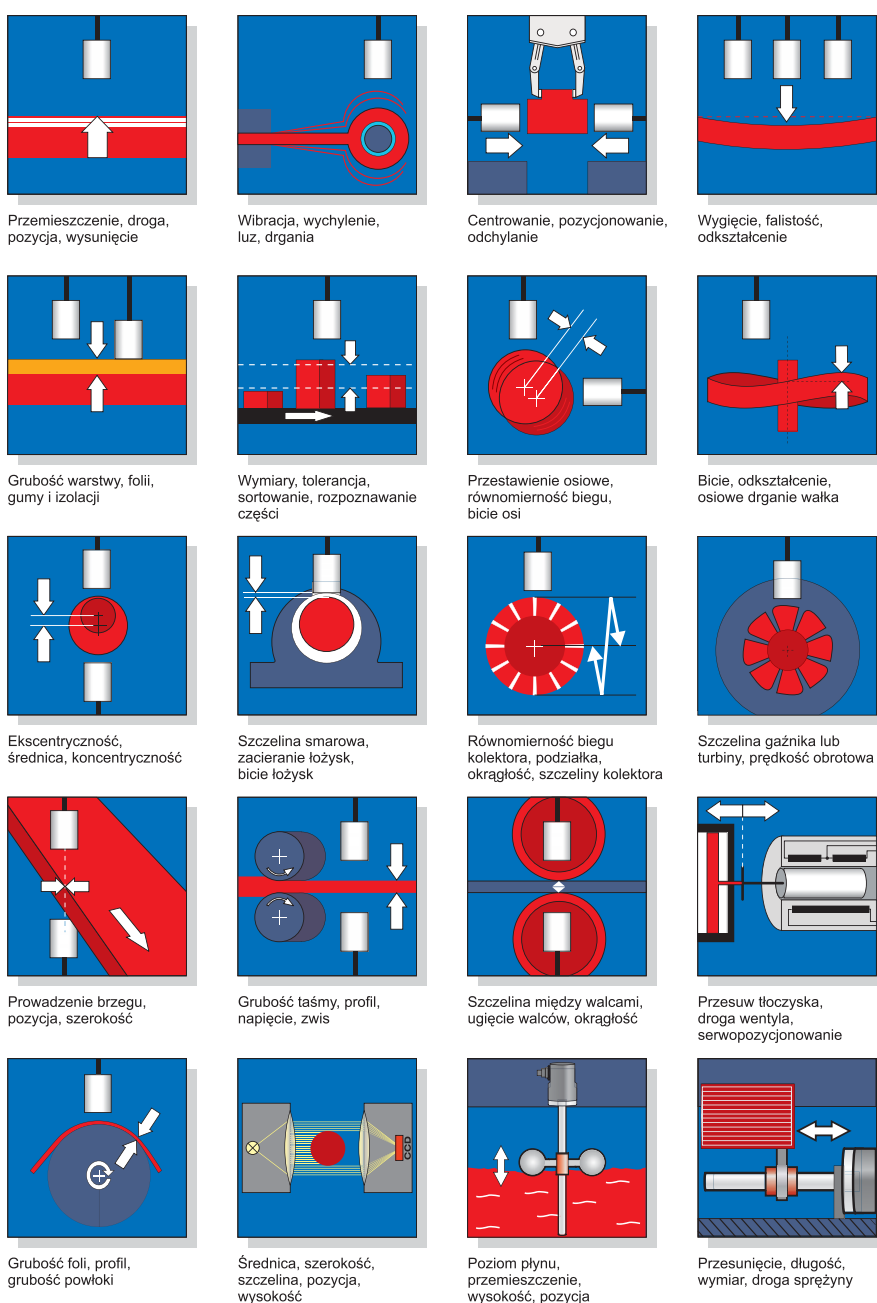
- mają być mierzone szybkie zmiany drogi,
- czujnik nie może wywierać żadnej siły na mierzony obiekt,
- nie można uszkodzić wrażliwych powierzchni,
- wymagana jest długa żywotność czujnika, tzn. czujniki nie powinny wykazywać żadnego zużycia.

Takie założenia w zadaniach pomiarowych występują bardzo często w badaniach i rozwoju, automatyzacji, kontroli jakości, kontroli narzędzi i maszyn. Rysunek 1 pokazuje przegląd dotychczas zrealizowanych aplikacji z bezstykowymi czujnikami drogi. Do wszystkich tych zadań wiele firm oferuje obecnie, na bazie różnych metod pomiarowych, wiele różnych czujników. Jeśli jednak zaostrzy się wymagania pomiarowe to oferta redukuje się radykalnie:

- nieliniowość: $< 0,3\%$ odniesione do zakresu pomiarowego,
- rozdzielczość: $< 0,05\%$,
- pasmo: ponad 5 kHz,
- stabilność temperaturowa: $< 0,05\%$ zakresu pomiarowego/Kelvin.

Czujniki spełniające te wymagania uszeregowuje się jako „mierzące precyzyjnie”. Chociaż dla pojęcie „precyzyjne” nie ma bezwzględne odniesienia, z praktyki jednak da się określić powyższe wymagania. Trzy metody pomiarowe ukonstytuowały się w pomiarach precyzyjnych w ostatnich latach:

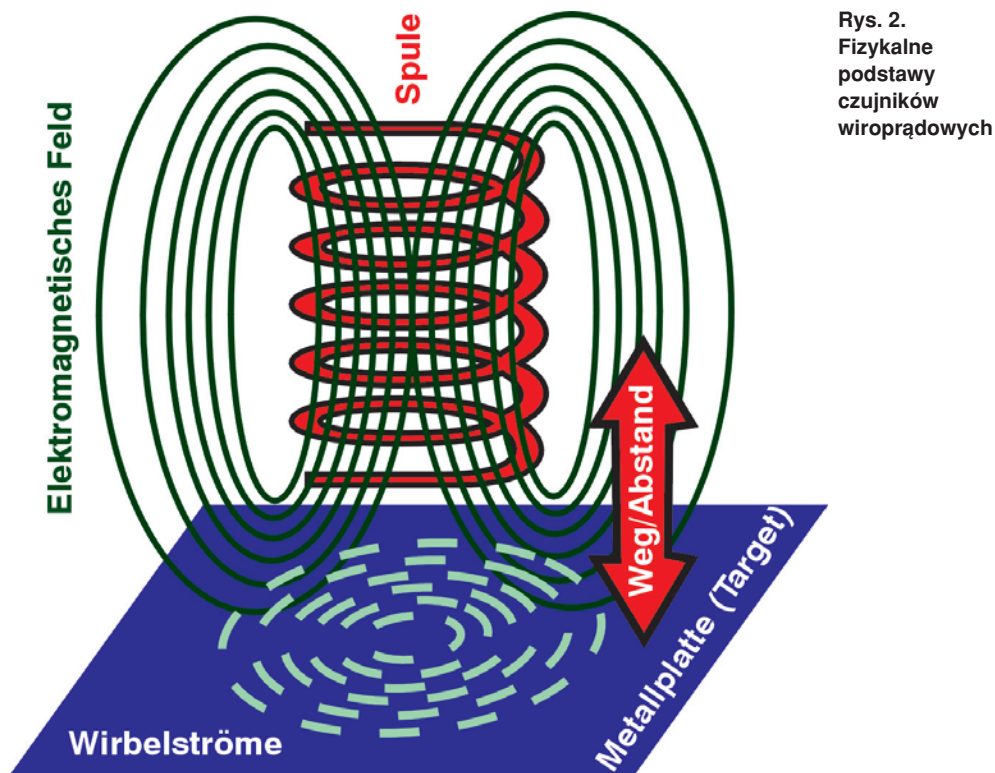
- zasada prądów wirowych,
- zasada pojemnościowa,
- zasada triangulacji optycznej.



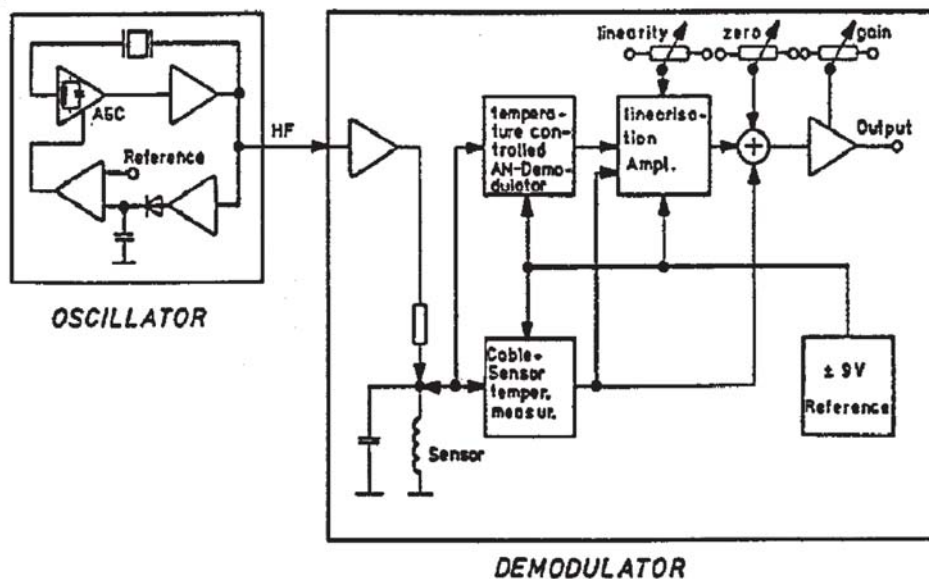
Rys. 1. Przykłady zastosowań precyzyjnych czujników drogi

Te metody pomiarowe tworzą tylko bazę dla precyzyjnych pomiarów. Dopiero przetworzenie (specyficzne dla danego produktu) w precyzyjnie mierzący system czujników pozwala zmieścić się w podanych założeniach brzegowych. Aby zreali-

zować te wymagania, potrzebne są rozwiązania wykorzystujące układy elektroniczne oraz triki stosowane w obróbce sygnału, kombinowane z dopasowanymi czujnikami. Gdyby przyrzeć się bliżej dostępnym na rynku systemom czujników widać, że



Rys. 2. Fizyczne podstawy czujników wirowych



Rys. 3. Schemat blokowy systemu multiNCDT

istota sprawy znajduje się z reguły w kryteriach: nieliniowość, rozdzielczość, pasmo i stabilność temperaturowa.

Zasada pomiarowa prądów wirowych

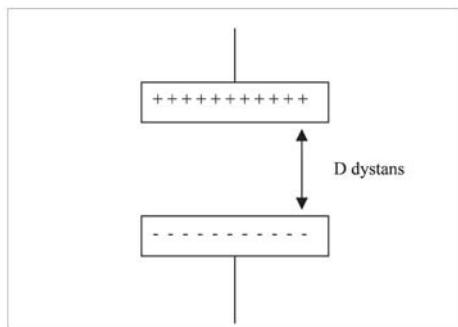
Zasada prądów wirowych zajmuje specjalne miejsce w grupie czujników indukcyjnych. Efekt polega na ucieczce energii z obwodu rezonansowego, która jest konieczna do indukcji prądów wirowych w przewodzącym obiekcie mierzonym. Jeśli zbliża się (jak pokazano na rysunku 2) uzwojenie zasilane wysokoczęstotliwościowym polem elektromagnetycznym do powierzchni metalowej płyty, to indukują się w niej prądy wirowe. Pole własne tych prądów wirowych, zgodnie z regułą Lenza jest skierowane przeciwnie do wywołującego je pola. Powstający przez to

ubytek energii skutkuje zmianą impedancji uzwojenia czujnika. W konsekwencji zmienia się amplituda na uzwojeniu w proporcji do dystansu do płyty mierzonego obiektu (metalowa płyta).

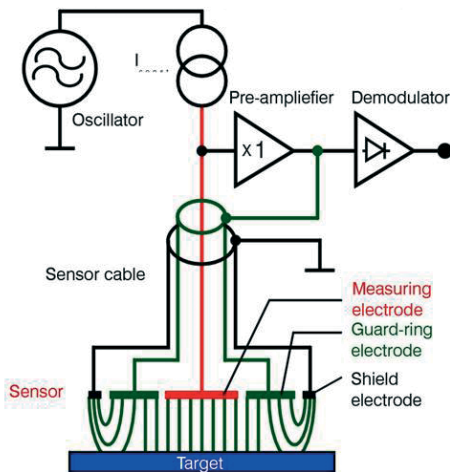
Metoda ta zwana też metodą stratną prądów wirowych wymaga stabilnego amplitudowo i częstotliwościowo generatora, który z reguły pracuje z częstotliwością 1 lub 2



Rys. 4. Systemy pomiarowe bezstykowe eddyNCDT3700 na bazie prądów wirowych



Rys. 5. Fizyczne podstawy czujników pojemnościowych



Rys. 6. Schemat blokowy pojemnościowego systemu pomiarowego capaNCDT

MHz. Uzwojenie tworzone jest jako cewka powietrzna bez rdzenia ferrytowego.

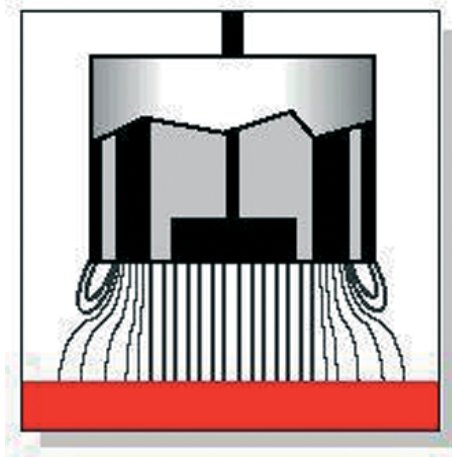
Jak pokazano na rysunku 3 w systemie multiNCNTD zmiany amplitudy na cewce są w końcu demodulowane i linearyzowane. Linearyzacja jest konieczna, ponieważ zależność amplitudy od dystansu cewki do mierzonego obiektu nie przebiega liniowo. Ważnym kryterium jest zależność temperaturowa efektu wiroprądowego. Specjalnymi metodami kompensacyjnymi osiąga się w systemie multiNCNTD znakomitą wartość stabilności temperaturowej.

Zalety bezstykowego pomiaru wiroprądowego

- do zastosowania we wszystkich metalach elektrycznie przewodzących, z własnościami ferromagnetycznymi lub bez,
- małe formy budowy,
- urządzenia są nieczułe na brud, kurz, wilgoć, olej, dielektryczne materiały w szczelinie pomiarowej,
- odporność na zakłócenia w otoczeniu



Rys. 7. Bezstykowy system pomiaru drogi capaNCDT



Rys. 8. Czujnik jako kondensator z pierścieniem ochronnym

- elektromagnetycznym,
- szeroki zakres temperatur pracy,
- wysoka dokładność pomiarowa.

Ograniczenia w zastosowaniach

- sygnał wyjściowy i liniowość są zależne od elektrycznych i magnetycznych własności mierzonego obiektu,
- wymagana jest indywidualna linearyzacja i kalibracja,
- długość kabla czujnika z uwagi na wysokie częstotliwości rezonatora ograniczona jest do około 12 do 18 m,
- średnica czujnika, a tym samym średnica koniecznego obiektu (płamki pomiarowej), rośnie wraz z zakresem pomiarowym.

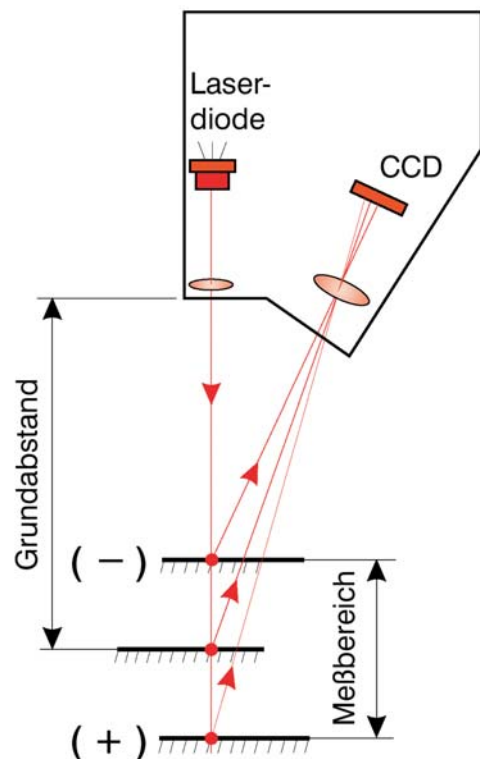
Metoda pojemnościowa

Zasada pojemnościowego pomiaru odległości za pomocą systemu capaNCNTD (*capacitive Non-Contact Displacement Transducer*) bazuje na sposobie działania idealnego kondensatora z płaskimi okładzinami. Obie elektrody kondensatora tworzone są przez czujnik i leżący naprzeciwko mierzony obiekt. Przy przepływie prądu przemiennego o stałej wartości, pomiędzy okładzinami kondensatora amplituda napięcia przemiennego jest wprost proporcjonalna do odległości elektrod kondensatora. Po demodulacji napięcia przemiennego tworzona jest różnica do nastawialnego napięcia kompensacyjnego, następnie wzmacniana i wydawana na zewnątrz jako sygnał analogowy.

System capaNCNTD wyznacza impedancję X_c kondensatora okładzinowego, która się zmienia ściśle proporcjonalnie do dystansu okładzin:

$X_c = 1/j \cdot \omega \cdot C$ pojemność $C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \text{powierzchnia} / \text{Dystans}$

$X_c = \text{stała} \cdot \text{Dystans}$



Rys. 10. Metoda triangulacyjna

Ta teoretyczna zależność została zrealizowana w praktyce poprzez budowę czujnika jako kondensatora z pierścieniem ekranującym.

Liniowa charakterystyka sygnału pomiarowego osiągnięta jest dla przewodzących materiałów (metale) bez dodatkowej elektronicznej linearyzacji. Zmiany przewodności nie oddziałują na czułość lub liniowość.

Zalety pojemnościowych czujników drogi

- w przypadku metali jako obiektów mierzonych funkcjonalność nie zależy od rodzaju materiału, tzn. występuje taka sama liniowość i czułość dla wszystkich metali,
- czujniki charakteryzują się bardzo wysoką stabilnością temperaturową, ponieważ termicznie zależne zmiany przewodności nie wpływają na wynik pomiaru

Ograniczenia w zastosowaniach

- czujniki reagują czule na zmiany dielektryka w szczelinie pomiarowej, przez co



Rys. 9. Bezstykowy czujnik laserowy triangulacyjny z serii optoNCNTD

Tabela 1. Kryteria zastosowań trzech metod pomiarowych

Metoda pomiaru	Prądy wirowe	pojemnościowa	Laserowo-optyczna triangulacyjna
dokładność	+++	+++	+++
rozdzielczość	+++	+++	+++
Zakres temperatur	40°C	+++	+++
	60°C	+++	+ / -
	90°C	+++	-
	150°C	+++	-
	>150°C	++	++
Wielkość czujnika	+++	++	+ / -
Wielkość plamki pomiaru	+	+	+++
Odporność na warunki	++	-	-
Długość kabla	+	+ / -	++
Częstotliwość graniczna	+++	++	++
Mierzony obiekt	Metale	+++	+++
	Izolatory	-	++
	Struktura powierzchni/kolor	++	++
Elektryczna utrata energii *	-	+++	+++

+++ znakomicie ++ bardzo dobrze + dobrze + / - znośnie - problematycznie

*) niehomogeniczne elektromagnetyczne materiały

Tabela 2. Dane techniczne wybranych czujników

Metoda pomiaru	Prądy wirowe	Pojemnościowa	Laserowo-optyczna triangulacyjna
System pomiarowy	multiNCDT	capaNCDT 600	optoNCDT2000
Zakres pomiarowy [mm]	0 – 0,5...0 – 80	0 – 0,05...0 – 10	0 – 5...0 – 200
Liniowość % zakresu	<±0,2	<±0,2	<±0,03
Rozdzielczość % zakresu	0,01	0,004	0,005
Pasmo [kHz (-3dB)]	0 – 100	0 – 6	
Częstotliwość pomiaru [kHz]			10
Zakres temperatur [°C]	-50 ... 150	-50 ... 200	0 ... 40
Stabilność temperaturowa % zakresu / °C	<±0,02	<±0,002...0,05	0,002

wymagają czystego otoczenia (smar, kurz, brud, woda lub inne dielektryczne materiały w szczelinie czujnika mogą zafałszować wynik pomiaru),

- wymagane są małe długości kabla czujnika (występuje wpływ pojemności kabla na układ rezonansowy),
- średnica czujnika i tym samym efektywna wielkość mierzonego detalu różnie z zakresem pomiarowym.

Laserowo-optyczna metoda pomiaru triangulacyjnego

W tej metodzie na mierzony obiekt kierowany jest impulsowany promień lasera, którego światło odbija się od powierzchni mierzonego obiektu. Ważne jest, aby odbicie nastąpiło z rozproszeniem. Odbite światło projektowane jest poprzez optykę

odbiorczą na analogowy detektor liniowy lub cyfrową liniijkę CCD. Dostarcza ona sygnał proporcjonalny do dystansu od powierzchni mierzonej (rys. 10). Różne faktury powierzchni, w szczególności różnice w kolorach powierzchni i przejściach między kolorami tworzą źródła błędów dla metody triangulacyjnej. Wpływ ten można zredukować wyrafinowaną automatyczną regulacją intensywności świecenia lasera.

Zalety metody triangulacyjnej

- mała plamka pomiarowa,
- duży dystans bazowy,
- możliwe duże zakresy pomiarowe,
- niezależne od materiału.

Ograniczenia zastosowania

- określona zależność od powierzchni,
- wymagane czyste otoczenie dla drogi światła lasera,
- duże rozmiary czujnika (dotyczy małych zakresów pomiarowych i relacji do czujników wiroprowadowych i pojemnościowych).

Przeciwstawienie kryteriów aplikacji i danych technicznych

Przy wyborze czujników drogi do specyficznego zadania pomiarowego należy wziąć pod uwagę własności (zalety) i ograniczenia, które podano w dyskutowanych trzech metodach. Pewną pomocą służyć mogą tabela 1 z kryteriami zastosowania i tabela 2 z danymi technicznymi typowych przedstawicieli tych trzech metod pomiarowych produkowanych przez MicroEpsilon. Poszczególne metody pomiarowe pozwalają producentowi na dużą swobodę rozwoju. Metoda pomiaru daje tylko podstawy i ograniczony warunkami brzegowymi obszar możliwych do osiągnięcia parametrów. Dopiero po przetworzeniu sygnałów w konkretnym czujniku i systemie pomiarowym można mówić o rzeczywistej precyzji i zakresie zastosowań.

Wolfgang Bathke
mgr inż. Witold Ober
Autorzy są...



KONTAKT

Wobit