



Wydział Elektryczny,

Katedra Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych

Laboratorium Przetwarzania i Analizy Sygnałów Elektrycznych

(bud A5, sala 310)

Wydział/Kierunek	Nazwa zajęć laboratoryjnych	Nr zajęć
Elektryczny/ AiR	Czujniki i przetworniki	6
Chemiczny	Pomiary w aparaturze procesowej	7

Wyznaczanie cech czujników zbliżeniowych (odległości) i przemieszczenia

ZAMIAST WSTĘPU TROCHEŃ O POMIARACH ODLEGŁOŚCI I ULTRADŹWIĘKACH

Pomiarów odległości dokonuje się przy użyciu różnych przyrządów pomiarowych w zależności od obiektu, warunków i dokładności pomiaru. Małe odległości wynoszące kilka bądź kilkanaście centymetrów lub milimetrów najczęściej mierzy się przy pomocy miarki inaczej zwanej przymiarem liniowym. Do pomiaru odległości rzędu milimetra lub mniejsze wykorzystuje się śrubę mikrometryczną lub suwmiarkę. W geodezji używa się taśmy geodezyjnej. Przymiary składane bądź miernicze taśmy są to rozsuwane lub rozkładane miarki używane w budownictwie. W przypadku obiektów, które są w ruchu stosuje się specjalne przyrządy oraz skomplikowane metody. Wymagają tego takie dziedziny nauki jak astronomia lub mikroskopia. Geodezja również przy stwarza spore problemy z pomiarem odległości. Często odległości wynoszą setki metrów, więc stosuje się dalmierze laserowe, przyrządy wykorzystujące sygnał GPS oraz triangulacje.

Ultradźwięki są to fale dźwiękowe o częstotliwości zaczynającej się od 20 kHz a kończącej na 1 GHz. Ludzkie ucho nie jest w stanie usłyszeć dźwięku o takiej częstotliwości. Jednak niektóre zwierzęta potrafią emitować i słyszeć ultradźwięki. Zwierzęta te to: delfin, chomik, pies, nietoperz czy szczur. Ultradźwięki znajdują zastosowanie przy tworzeniu obrazów przedmiotów. Są stosowane w sonarach, które skanują dno morskie i tworzą dokładny jego obraz. Wykorzystuje się je w łodziach podwodnych. W medycynie ultradźwięki są stosowane w ultrasonografach. Jest to urządzenie o działaniu podobnym do sonaru, lecz dzięki niemu uzyskujemy obraz narządów. Następne zastosowanie to czyszczenie zębów przy ich pomocy. Są stosowane do kruszenia kamieni nerkowych, operowania zaćmy metodą fakoemulsyfikacji oraz do badania serca i naczyń krwionośnych. Innym zastosowaniem są myjki ultradźwiękowe, przy ich pomocy jest możliwe mycie przedmiotów o skomplikowanych kształtach i małych szczelinach, otworach. W naturze używane są przez na przykład delfiny czy nietoperze do echolokacji. Nietoperze potrafią wyemitować przez pyszczek i odebrać uszami te fale. Dzięki nim są w stanie zlokalizować ómy w ciemności, natomiast delfiny potrafią namierzyć ławice lub nawet plankton.

Aby wytworzyć ultradźwięki membrana musi być bardzo lekka, gdyż wykonuje drgania o bardzo wysokiej częstotliwości. Generować takie fale można w sposób mechaniczny poprzez drgania tworzywa (płytki, struny). W sposób termiczny wytwarzając w różnych substancjach (gazach, płynach) wyładowania elektryczne. Poprzez magnetostrykcje, polega ona na zmienianiu długości rdzenia z ferromagnetyka wskutek zmian prądu płynącego przez uzwojenie nawinięte na nim. Kolejnym sposobem jest wykorzystanie odwrotnego zjawiska piezoelektrycznego. Dźwięki są emitowane przez płytkę kwarcową, do której jest doprowadzone napięcie o bardzo szybko zmieniającej się wartości. Następnym sposobem jest użycie lasera, który tworzy fale sprężyste.

METODY POMIARU ODLEGŁOŚCI

Taśma pomiarowa

Służy do pomiaru odległości pomiędzy wybranymi elementami lub długości obiektu. Taśmy pomiarowe były wykorzystywane już w dalekiej przeszłości. Aktualnie są instrumentami pomiarowymi o bardzo dobrej dokładności. Zawdzięczają to stosowanym do ich wytworzenia materiałom oraz technologii, dzięki której podziałka jest nanoszona. Te profesjonalne i najbardziej dokładne posiadają stalową taśmę.

Głównym kryterium przy wyborze jest długość taśmy. Do krótkich zaliczamy te o długości od 1 metra do 20. Ich taśma jest zamknięta w obudowie. Te od 20 metrów do 100 są zaliczane do taśm długich. Przeważnie są nawinięte na otwartych szpulach. Podziałkę nanosi się trawiąc bądź nadrukowując. Kolejnym kryterium jest rodzaj podziałki. Występują z podziałką centymetrową,

milimetrową bądź calową. Rodzaj zależy od dokładności pomiarów. Istnieją też miarki z zerem umieszczonym na początku taśmy lub przesuniętym.

Drogomierz

Urządzenia te umożliwiają pomiar odległości w sposób łatwy i szybki. Służą do pomiarów długich odcinków wynoszących kilkanaście kilometrów. Ich budowa jest bardzo prosta, co wpływa na niezawodność. Głównym elementem jest koło pomiarowe o obwodzie równym 1 lub 0.5 m. Przymocowane jest do uchwytu, na którym znajduje się licznik. Występują odmiany analogowe i cyfrowe. Odległość jest liczona na podstawie liczby obrotów koła pomnożonej razy jego obwód. Kilka cech sprawia, że drogomierz jest niezastąpiony przez inne dalmierze. Umożliwia wykonywanie pomiaru po łuku. Odległość jest rzeczywistą drogą, ponieważ są uwzględniane nierówności terenu. Drogomierzem również można liczyć drogę w tył.

Dalmierz laserowy

Dalmierze laserowe są alternatywą dla taśmy pomiarowej. Oferują też funkcje do obliczania interesujących nas parametrów takich jak pole powierzchni lub objętość. Ich oprogramowanie pozwala mierzyć długości niedostępne z wykorzystaniem twierdzenia Pitagorasa oraz funkcji trójkątów. Dalmierze najczęściej wyposażone są w celowniki ułatwiające dokonywanie pomiaru. Profesjonalne dalmierze posiadają łącza Bluetooth, dzięki czemu dane mogą być przesyłane na tableta bądź smartfona. Oprogramowanie wtedy tworzy szkic obiektu, który wymiarujemy.

Dalmierze laserowe dostępne na rynku można podzielić ze względu na technikę przeprowadzania pomiaru:

- impulsowe
- fazowe.

Bez względu na rodzaj wyznaczania odległości głównym elementem dalmierza laserowego jest układ optyczno-elektroniczny. Wysyła on impuls świetlny, odbiera sygnał odbity oraz przetwarza otrzymane dane. Zasada działania polega na wyemitowaniu fali elektromagnetycznej, która odbija się od mierzonego obiektu, powraca do urządzenia i następnie wyznaczana jest odległość. Są dwa sposoby uzyskania tej wartości. Porównanie przesunięcia fazowego pomiędzy falą wysłaną a odbitą i na podstawie tego oblicza się czas „pokonania” drogi (dalmierze fazowe) lub dokonuje się pomiaru czasu od momentu wysłania wiązki światła do jej powrotu (dalmierze impulsowe).

Dalmierze laserowe charakteryzują się dużą dokładnością (rzędu 1 mm w przypadku fazowych), zasięg potrafi przekraczać 1 km (w przypadku dalmierzy impulsowych). Są szybkie w działaniu, niezawodne w trudnych warunkach oraz posiadają plamkę wiązki laserowej, która ułatwia celowanie. Do wad można zaliczyć wrażliwość na duże nasłonecznienie oraz brak możliwości pomiaru, gdy obiekt jest przezroczysty.

Tachimetry elektroniczne

Tachimetry elektroniczne stosowane są przeważnie w geodezji, budownictwie oraz przemyśle. Instrumenty te są bardzo zaawansowane, obliczają współrzędne na podstawie pomiarów kątów i odległości. Posiadają wewnętrzne oprogramowanie, co pozwala na obliczanie odległości między punktami lub różnicy wysokości już w trakcie pomiarów z wyznaczonych współrzędnych.

Głównymi podziałami, jakie można rozróżnić jest dokładność pomiarów kątów oraz zasięg dalmierza. Spora część tych urządzeń pozwala na wykonywanie pomiarów bez użycia lustra. Dzięki temu nie ma potrzeby chodzenia i ustawiania tyczki z lustrem. Najbardziej zaawansowane śledzą lustro, które jest przestawiane w inne punkty pomiarowe. W znacznym stopniu przyspiesza to prace i ogranicza liczbę osób potrzebnych do obsługi urządzenia.

Dalmierz ultradźwiękowy

Dalmierze ultradźwiękowe swoim działaniem niewiele różnią się od dalmierzy laserowych. Podstawowa różnica polega na tym, że jest emitowany sygnał dźwiękowy a nie świetlny. Dalmierz zbudowany jest z mikrofonu oraz z głośnika. Układ sterowania dokonuje pomiaru czasu, jaki upłynął od momentu wyemitowania fali dźwiękowej do momentu odebrania echa. Dokładność pomiaru bardzo mocno zależy od prędkości rozchodzenia się w powietrzu fali dźwiękowej. Wpływ na tą prędkość ma wiele czynników takich jak temperatura powietrza, wilgotność, zanieczyszczenie oraz wiele innych. Również fala może ulec podczas pomiaru pochłonięciu, odbiciu oraz załamaniu, co skutkuje obarczeniem pomiaru błędem. To samo dotyczy dalmierzy laserowych.

Dalmierze ultradźwiękowe w porównaniu do laserowych mają znacznie więcej wad. Użytkownik musi bardzo uważać podczas pomiarów, gdyż dźwięk może zostać odbity nie od tego obiektu, co założono. Gdy obiekt jest umieszczony do urządzenia pod dużym kątem odbity dźwięk nie powróci do dalmierza. Posiadają krótki zasięg pomiarowy oraz niską dokładność. Rekompensują to natomiast niską ceną.

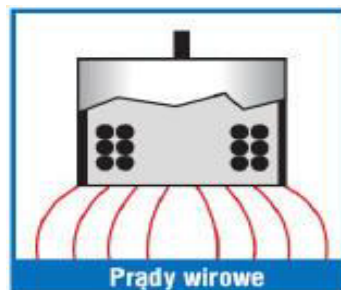
PRZEMYSŁOWE CZUJNIKI ODLEGŁOŚCI

Najważniejszym powodem rozwoju i implementacji automatyki w przemyśle jest maksymalizacja jakości oraz wydajności produkcji. Jednym z głównych elementów są czujniki, które informują o aktualnych parametrach procesu, stanie maszyny oraz kontrolują jej pracę. Bezstykowe czujniki odległości umożliwiają pomiar drogi bez konieczności kontaktu z obiektem, do którego jest mierzona odległość. Stosowane są wszędzie, gdzie kontakt z obiektem jest niepożądany, niemożliwy lub utrudniony. Wykorzystuje się je tam gdzie obiekt może łatwo zostać uszkodzony lub jest małych rozmiarów. Obiekt może być miękki, łamliwy, podatny na zarysowania lub odkształcenia. Wtedy zastosowanie czujnika kontaktowego jest nie możliwe. Bezkontaktowe czujniki stosuje się także, gdy przez kontakt mogłyby ulec uszkodzeniu np. gdy obiekt jest gorący, świeżo pomalowany, pokryty klejem bądź wilgotny. Używane są następujące techniki pomiarowe: ultradźwięki, laser, metoda triangulacyjna, indukcyjne, konfokalne, wiropądowe oraz pojemnościowe czujniki. Dobór czujnika jest uwarunkowany aplikacją, w jakiej będzie pracował. Każdy z wymienionych czujników posiada pewne wady i zalety, co wpływa na decyzje podczas wyboru odpowiedniego. Bezstykowe czujniki odległości stosuje się, gdy występowałyby problemy przy pomiarze, gdy czujnik ma być żywotny lub nie okazywać zużycia, jeśli ma być dokonywany pomiar obiektu który porusza się z dużą prędkością. Wiele firm ma w swoich ofertach czujniki oparte na różnych technikach pomiarowych spełniające powyższe wymagania. Jeśli szukamy czujnika, który spełnia bardziej rygorystyczne wymagania dotyczące jego nieliniowości na poziomie poniżej 0.3% zakresu pomiarowego, rozdzielczości mniejszej od 0.05%, z pasmem wynoszącym ponad 5 kHz oraz dobrą stabilnością temperaturową wtedy oferta się znacznie kurczy. Metodami, które umożliwiają osiągnięcie taki parametrów są: metoda prądów wirowych, pojemnościowa oraz triangulacji.

Czujniki wiropądowe

Zasada działania polega na stracie energii z obwodu rezonansowego. Energia ta służy do wy indukowania prądów wirowych w mierzonym obiekcie. Obiekt musi być wykonany z przewodzącego materiału. Ideę działania przedstawia rys.1. Uzwojenie jest zasilane z generatora pracującego z reguły z częstotliwością 1 lub 2 MHz. Zbliżenie tej cewki do powierzchni materiału przewodzącego powoduje wy indukowanie się prądów wirowych. Płynące w materiale prądy wytwarzają własne pole elektromagnetyczne, które zgodnie z regułą Lenza

ukierunkowane jest przeciwnie do pola wytwarzanego przez cewkę. W skutek tego powstaje ubytek energii a za razem zmienia się impedancja cewki. Konsekwencją tego jest zmiana amplitudy w uzwojeniu. Zmiana ta jest proporcjonalna do odległości cewki od obiektu. Metoda ta jest inaczej określana, jako metoda strat prądów wirowych. Do poprawnego działania czujnika konieczny jest generator, który wytworzy sygnał o stabilnej amplitudzie i częstotliwości. Uzwojenie zbudowane jest w postaci cewki powietrznej, nieposiadającej rdzenia z materiału ferromagnetycznego. Metoda wiroprądowa nie jest liniowa, gdyż amplituda w cewce nie zależy liniowo od odległości jej od obiektu. Wymagane jest zastosowanie linearyzacji. Należy również zwrócić uwagę na zależność efektu wiroprądowego od temperatury. Stosowane są specjalne metody pozwalające skompensować wpływ temperatury. Do zalet opisywanych czujników można zaliczyć brak wpływu zakłóceń elektromagnetycznych, odporność oraz nieczułość na brud, oleje, wilgoć oraz dielektryczne materiały. Czujniki można zastosować gdzie obiekt wykonany jest z metalu przewodzącego prąd bez względu na właściwości ferromagnetyczne. Za wady natomiast można uznać to, że wraz z wzrostem zakresu pomiarowego powiększa się plamka pomiarowa. W przypadku tych czujników konieczne jest indywidualne kalibrowanie oraz linearyzacja czujnika w zależności od właściwości magnetycznych i elektrycznych obiektu.



Rys.1. Zasada działania czujnika wiroprądowego [2]

Czujniki laserowe triangulacyjne

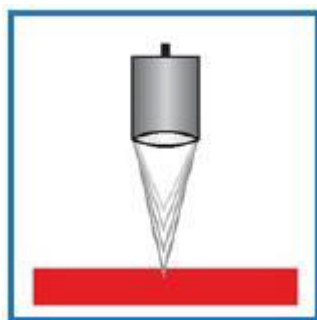
Metoda ta wykorzystuje promień lasera. Na badany obiekt emitowana jest wiązka światła o charakterze impulsowym. Następnie odbija się ona od powierzchni obiektu i jest kierowana przez optykę na analogowy detektor linii albo na cyfrową linijkę CCD. Wytwarzany sygnał jest proporcjonalny do odległości jaka dzieli czujnik i obiekt. Istotne jest, aby podczas odbicia wystąpiło rozproszenie światła. Zasadę działania ilustruje rys.2. Zaletami tej metody jest plamka pomiarowa o małych rozmiarach, duży zakres pomiarowy, znakomita liniowość oraz duża częstotliwość pomiaru. Czujniki laserowe triangulacyjne mogą mierzyć odległość niezależnie od tego, z jakiego materiały wykonany jest obiekt. Do poprawnej pracy wymagana jest czystość, aby wiązka lasera mogła swobodnie dotrzeć do obiektu i wrócić z powrotem do czujnika. Na pomiar wykonany tą metodą ma duży wpływ faktura powierzchni obiektu. Szczególnie narażony jest na różnice oraz przejścia między kolorami. Zapobiega się temu przy pomocy regulowanemu natężeniu światła lasera.



Rys.2. Zasada działania czujnika laserowego triangulacyjnego [2]

Czujniki optyczne konfokalne

Zasada działania polega na pomiarze odległości między barwami odbitego światła od obiektu. Czujnik emituje polichromiczne światło, które ogniskowane jest przez kilka soczewek na powierzchni obiektu. Odstępy między soczewkami powodują, że światło białe zostaje podzielone na monochromatyczne podzakresy. Gdy światło się odbije od obiektu wraca przez układ optyczny i trafia na foto czuły układ. Układ ten rozpoznaje spektra światła. Dystansowi czujnika od przeszkody odpowiada światło o określonej długości. Metoda ta bardzo precyzyjnie pozwala mierzyć odległość, niezależnie od powierzchni obiektu. Zaletami czujników optycznych konfokalnych są: mała plamka pomiarowa, wysoka rozdzielczość oraz czujnik nie wydzielający ciepła. Znajdują zastosowanie przy pomiarze grubości materiałów przezroczystych, odległości od powierzchni lustrzanych oraz topografii powierzchni. Zobrazowanie działania przedstawia rys.3.



Rys.3. Zasada działania czujnika optycznego konfokalnego [2]

Czujniki laserowe odbiciowe

Czujnik tego typu, inaczej zwany dyfuzyjnym, zbudowany jest z nadajnika i odbiornika umieszczonych w jednej obudowie. Mierzy czas od momentu wyemitowania impulsu światła w stronę obiektu do chwili zarejestrowania światła, które odbiło się od specjalnego odbłyśnika zainstalowanego na obiekcie i powróciło. Czas jest proporcjonalny do odległości, jaką pokonało światło w obie strony. Otrzymany czas dzieli się przez dwa i na podstawie znanej i stałej prędkości światła wyznacza się drogę. Charakteryzują się bardzo dużym zasięgiem pomiarowym (300m), szybkością działania oraz powtarzalnością.

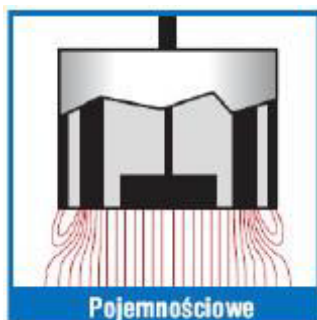


Rys.4. Czujnik laserowy odbiciowy [2]

Czujniki pojemnościowe

Zasada działania czujnika wykonanego w tej metodzie bazuje na działaniu kondensatora wykonanego z płaskich okładek. Czujnik jest aktywną elektrodą, która wytwarza zmienne oraz odpowiednio ukształtowane pole elektryczne. Częstotliwość tego pola zawiera się w przedziale 0.2-1 MHz. Pole to powstaje w wyniku działania specjalnego oscylatora, w którym kondensator tworzy aktywne czoło czujnika. Zmiana parametrów oscylatora zachodzi, gdy w polu elektrycznym pod czujnikiem znajdzie się jakiś przedmiot, w wyniku tego amplituda wyjściowego sygnału spada. Dalej odpowiedni układ wykrywa tę zmianę i przekształca ją na dwustronną histerezę, co zapewnia pracę w obie strony, bądź stabilność w wypadku drgań

obiektu. Zastosowanie pierścienia ochronnego poprawia liniowość charakterystyki. Czujniki pojemnościowe są bardzo dokładne, ich zakres wynosi 0.2 - 10 mm. Charakteryzują się stabilnością temperaturową, szybkością działania, wysoką rozdzielczością, nadają się do zastosowania z wszystkimi materiałami oraz są stabilne w czasie. Zasadę działania oraz rozkład pola przedstawia rys.5.



Rys.5. Pojemnościowy czujnik odległości [2]

Czujniki indukcyjne

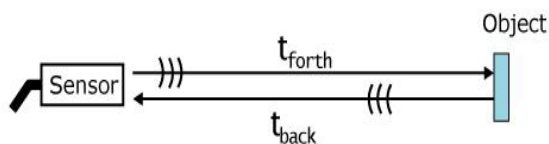
Indukcyjne czujniki działają na identycznej zasadzie, co pojemnościowe; lecz wykorzystują w swojej pracy pole elektromagnetyczne. Wprowadzenie elementu wykonanego z materiału ferromagnetycznego pod czujnik prowadzi do zmiany w polu, które jest wytwarzane. W elemencie powstają prądy wirowe oraz ze względu na to, że jest ferromagnetykiem zostaje namagnesowany. Wpływa to na parametry drgań oscylatora. Następuje zmiana amplitudy lub częstotliwości oscylacji. Następnie ta zmiana jest przetwarzana na sygnał wyjściowy. Budowę obrazuje rys.6.



Rys. 6. Budowa indukcyjnego czujnika odległości [2]

Czujniki ultradźwiękowe

Są używane do automatyzacji produkcji w przemyśle od wielu lat. Po wielu latach rozwoju tej techniki oraz stosowania w coraz większej ilości obszarów automatyki czujniki ultradźwiękowe znacznie zmniejszyły rozmiary. Stały się też bardziej dostępne i tańsze a ich możliwości wciąż rosną. Mogą działać w różnych mediach przewodzących np.: gazy, materiały stałe lub ciecze. Ich głównym zastosowaniem jest pomiar czasu, z jakim rozchodzi się impuls akustyczny oraz jego amplitudy. Zasada działania jest podobna jak w czujnikach laserowych odbiciowych, lecz w tej technice zamiast wiązki laserowej wykorzystywana jest fala dźwiękowa. Generowane jest kilka impulsów ultradźwiękowych, które odbijają się od przeszkody i wracają do czujnika, który mierzy czas od nadania do odbioru echa. Obrazuje to rys. 3.7.



Rys. 3.7. Pomiar czujnikiem ultradźwiękowym [2]

Czas, jaki otrzymujemy jest czasem w obie strony $t = t_{\text{nad}} + t_{\text{odb}}$. Najczęściej zastosowany jest w czujniku pojedynczy przetwornik, który pełni rolę nadajnika i odbiornika. Są też produkowane czujniki, w których nadajnik i odbiornik jest osobno. Drogę s , jaką pokonała fala dźwiękowa oblicza się na podstawie wzoru:

$$s = c \times t / 2.$$

c - prędkość dźwięku,
 t - czas z pomiaru.

Czujniki ultradźwiękowe składają się głównie z przetworników, które zawierają w swojej konstrukcji układy piezoceramiczne i warstwy dopasowujące akustycznie. Układ piezoceramiczny ma za zadanie generowanie drgań mechanicznych natomiast warstwa dopasowania akustycznego jest odpowiedzialna za dopasowanie do siebie impedancji akustycznej układu piezoceramicznego z impedancją powietrza. Jest to wymagane, gdyż różnią się one znacząco. Impedancje warstwy dopasowującej Z_A oblicza się na podstawie wzoru:

$$Z_A = \sqrt{Z_K \times Z_L}$$

Z_K – impedancja akustyczna układu piezoceramicznego,
 Z_L - impedancja akustyczna powietrza.

Impedancję medium Z liczy się z wzoru:

$$Z = \rho \times c_M$$

ρ – gęstość medium,
 c_M – prędkość dźwięku w medium.

Bez dopasowania energia przekazana i odbierana z powietrza była by znikoma. Skutkiem tego byłoby zmniejszenie zasięgu czujnika.

Przetwornik ultradźwiękowy działający w trybie nadajnika jest stymulowany do pracy przez grupę impulsów o napięciu kilkuset woltów. Dzięki temu uzyskuje się częstotliwość rezonansową przetwornika. Po wyemitowaniu dźwięku przetwornik przechodzi w tryb odbiornika. Przetwornik działa wtedy jak mikrofon. Sygnał z odbiornika ma kilka miliwoltów, więc musi zostać wzmocniony. Następnie przechodzi proces demodulacji i trafia do detektora progowego, na którego wyjściu otrzymujemy czas. Na tej podstawie wyznaczana jest odległość czujnika od obiektu. Wadą zastosowania jednego przetwornika pracującego jako nadajnik i odbiornik jest strefa martwa przed czujnikiem. Pomiar w niej jest niemożliwy, ponieważ przetwornik ma pewien czas, w którym następuje przejście z trybu nadajnika w tryb odbiornika. Źródłem błędu pomiarowego może być temperatura powietrza, ponieważ prędkość dźwięku c_L jest od niej zależna.

$$c_L = c_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

c_0 = prędkość dźwięku przy temperaturze 0 °C
 T – temperatura w kelwinach
 T_0 – temperatura bezwzględna (273,15 K).

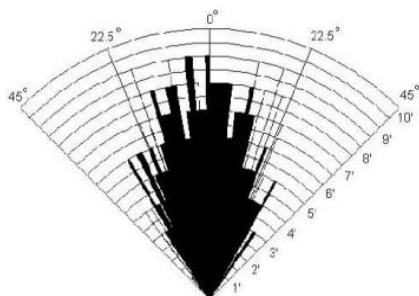
Zmiana temperatury o 100 K wpływa na pomiar obarczając go 18% błędem. Stosuje się w czujnikach dodatkowy czujnik temperatury, dzięki któremu jest możliwe wyeliminowanie jej wpływu. Częstotliwości, jakich się używa w czujnikach wynoszą od 40 kHz do 1 MHz. Im wyższa częstotliwość tym większe jest tłumienie, co powoduje zmniejszenie zasięgu. Czas działania czujników ultradźwiękowych jest względnie powolny. Gdy np. obiekt znajduje się w odległości 10 m od czujnika to czas, z jakim dźwięk pokona tę odległość wynosi w przybliżeniu 60 ms. Dokładność zależy również od układów sterujących. Obecnie stosuje się 32-bitowe sterowniki, które są bardzo wydajne. Zajmują się przetwarzaniem w czasie rzeczywistym

złożonych algorytmów np. regulują szerokością stożka dźwiękowego. Kolejnym przykładem skomplikowanego algorytmu jest dodatkowe mierzenie amplitudy fali odbitej aby pomiar był bardziej precyzyjny.

Czujniki te nie są wrażliwe ani na kurz ani na wilgoć oraz działają bez względu na kolor i stopień przezroczystości obiektu. Odporność ich jest podobna do czujników indukcyjnych lecz oferują zakres pomiarowy o ponad 100 razy większy. Wyjściowym sygnałem najczęściej jest prąd w zakresie 4-20 mA. Znajdują zastosowanie w zbiornikach, gdzie kontrolują poziom zawartości, w rolnictwie do pomiaru położenia, w przemyśle opakowaniowym do kontroli wyrobów. Zastosowań jest nieskończenie wiele, mogą być zastosowane w prawie każdym sektorze.

Ultradźwiękowy czujnik US-015 (zastosowany w ćwiczeniu)

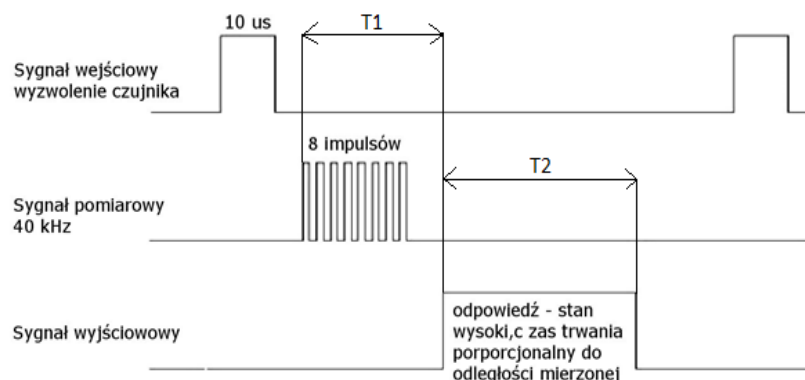
US-015 pozwala na pomiar odległości między przeszkodą a czujnikiem. Jego zakres mieści się w przedziale 2 cm do 4 m. Dokładność pomiarowa wynosi $0.3 \text{ cm} \pm 1\%$. Kąt widzenia czujnika to $\pm 15^\circ$. Zasięg czujnika zależy od kąta widzenia. Na rys.8. została przedstawiona zależność zasięgu od kąta widzenia. Wynika z tego, że ze wzrostem odległości kąt widzenia maleje.



Rys.8. Charakterystyka detekcji [6]

Czujnik zasilany jest napięciem stałym o wartości 5 V. Podczas pracy pobiera prąd o natężeniu ok. 15 mA (w stanie spoczynku zaledwie ok 2 mA).

US-015 wyposażony jest w wejście wyzwalające TRIG (sygnał wejściowy) oraz wyjście ECHO (sygnał wyjściowy). Wejście wyzwalające jest odpowiedzialne za inicjację pomiaru. Podanie na nie stanu wysokiego (+5V) skutkuje wystartowaniem procedury pomiarowej. Impuls ten jednak nie może być krótszy niż 10 μs . Pomiar rozpoczyna się od wyemitowania przez nadajnik fali ultradźwiękowej. Jest ona złożona z 8 impulsów o częstotliwości 40 kHz. Fala odbija się od obiektu i wraca do czujnika, gdzie zostaje zarejestrowana przez odbiornik. Końcowym działaniem czujnika jest wystawienie na wyjściu ECHO impulsu o stanie wysokim. Proces ten przedstawia rys.9.



Rys.9. Przebiegi pomiarowe czujnika US-015 [5]

Czas trwania impulsu jest proporcjonalny do odległości, jaka dzieli czujnik i obiekt. Są dwie metody na obliczenie odległości. Pierwsza polega na pomiarze czasu, jaki minął od momentu wyemitowania ultradźwięków do pojawienia się zbrocza narastającego na wyjściu trigger. Wzór na obliczenie odległości wygląda następująco:

$$d = \frac{T_1 \times v_d}{2}$$

T_1 - czas od momentu wyemitowania ultradźwięków do pojawienia się zbrocza narastającego na wyjściu trigger (rys. 3.9.)

v_d - prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu (340 m/s)

Druga metoda polega na pomiarze czasu trwania impulsu ECHO. Fala dźwiękowa pokonuje centymetr w 29 μ s. Wzór na obliczenie odległości w centymetrach wygląda następująco:

$$d [cm] = \frac{T_2 [\mu s]}{58}$$

T_2 - czas trwania impulsu echo

„ZAMIAST WSTĘPU ...” i dalsze – wykorzystano materiały zawarte w [1].

LITERATURA

- [1] Bajor O., *Projekt ultradźwiękowego miernika odległości*, Praca Dyplomowa, KMNiPE, PWr., Wrocław, 2016.
- [2] Strona internetowa <http://www.czujniki.pl/>
- [3] Strona internetowa <http://www.pepperl-fuchs.pl/>
- [4] Strona internetowa <http://www.24vdc.pl/>
- [5] Strona internetowa <http://botland.com.pl/>
- [6] Strona internetowa <http://www.buildcircuit.co>

ĆWICZENIE LABORATORYJNE

1. Badanie efektywności czujników przemieszczeń.

W zależności od rodzaju materiału określ: skuteczność 3. czujników przemieszczeń (indukcyjny, pojemnościowy, optyczny); badanie typu „widzi – nie widzi”, ewentualną odległość wykrycia próbki oraz histerezę przełączania.

Wyniki zanotuj w tabeli 1.

W sprawozdaniu wyjaśnij, dla jakich materiałów i dlaczego można (nie można) zastosować ww. czujniki

Tabela 1. Badanie efektywności czujników SCOO -1000 (optyczny)

Czujnik	PCIDX-25N (indukcyjny)		SCOO -1000 (optyczny)		PCPD 20RN (pojemn.)		Uwagi Histereza [mm]
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	
<i>Materiał (próbka)</i>							
Drewno							
Blacha aluminiowa							
Blacha stalowa							
Blacha stalowa ocynkowana							
Blacha stalowa ocynk. (czerwona)							
Pilśnia twarda (jasna)							
Pilśnia twarda (czarna)							
Karton							
Styropian							
Gąbka							
Gąbka "czarna"							
Płytk ceramiczna							

2. Badanie ultradźwiękowego miernika odległości

2.1. Pomiar zakresu pracy i histerezy miernika

Zainstaluj w uchwycie stanowiska próbkę z danego materiału. Następnie, przy pomocy umieszczonej na prowadnicy miarki, ustaw próbkę w określonej odległości od czujnika. Zmieniaj odległość w zakresie od 0 cm – 150 cm, a następnie od 150 cm – 0 cm.

Jednocześnie obserwuj na ekranie oscyloskopu sygnały TRIG i ECHO; dla dowolnej próbki wyznacz oscyloskopem czas trwania impulsu ECHO, oblicz odległości i porównaj ze zmierzonymi dalmierzem (miernikiem).

Wyniki zanotuj w tabeli 2. i tabeli 3.

2.2. Pomiar rozdzielczości miernika

Zainstaluj w uchwycie stanowiska próbkę z dowolnej blachy. Przy pomocy zainstalowanej na prowadnicy miarki, ustaw próbkę w określonych w tabeli 5. odległościach od czujnika. Następnie, powtórz pomiary dla innej próbki – wybór należy do Studenta(ki).

Wyniki zanotuj w tabeli 4.

W sprawozdaniu, na podstawie pomiarów z pkt. 2.1. i 2.2., wyznacz zmierzone parametry ultradźwiękowego miernika odległości.

Przed przystąpieniem do właściwych pomiarów ustawiaj na prowadnicy pusty uchwyt (bez próbki). Wyniki pomiarów odległości wpisz do tabeli 2.

Tabela 2. Pomiar zakresu pracy i histerezy ultradźwiękowego miernika odległości

Próbka Odległość	Uchwyt (bez próbki)		Styropian		Piłśnia twarda		Karton		Płytk ceramiczna		Blacha		Gąbka	
	l [cm]	Δl [cm]	l [cm]	Δl [cm]	l [cm]	Δl [cm]	l [cm]	Δl [cm]	l [cm]	Δl [cm]	l [cm]	Δl [cm]	l [cm]	Δl [cm]
~0														
2,5														
5,0														
7,5														
10														
25														
50														
75														
100														
125														
~150														
125														
100														
75														
50														
25														
10														
7,5														
5,0														
2,5														
~0														

Tabela 3. Pomiar odległości z impulsu ECHO

Próbka:																	
Odległość [cm]	~0	2,5	5,0	7,5	10	25	50	100	150	100	50	25	10	7,5	5	2,5	~0
t_{ECHO} [μs]																	
l [cm]																	

Tabela 4. Pomiar rozdzielczości ultradźwiękowego miernika odległości

Próbka Odległość	Blacha		Rozdzielczość [cm]
	l [cm]	Δl [cm]	l [cm]	Δl [cm]	
48,0					
48,5					
49,0					
49,5					
50,0					
50,5					
51,0					
51,5					
52,0					

Uwaga: W sprawozdaniu uwzględnij wpływ stanowiska