



Politechnika Wroclawska

Laboratorium Metrologii Elektronicznej

Ćwiczenie nr 8

Przetworniki wielkości nieelektrycznych

I. Zagadnienia do przygotowania na kartkówkę:

1. Kluczowe parametry czujników i przetworników.
2. Wielkości elektryczne i nieelektryczne – przykładowe metody pomiarów.
3. Sposoby komunikacji czujnika z urządzeniem nadrzędnym i ich kluczowe parametry.
4. Przykładowe zjawiska fizyczne wykorzystywane w pomiarach wielkości nieelektrycznych.
5. Czułość i stała przetwornika – definicje i przykłady.
6. Potencjalne konsekwencje przekroczenia zakresu pomiarowego przetwornika/ czujnika.
7. Selektywność detekcji – definicja i przykłady.

II. Literatura:

1. S. Tumański, *Technika pomiarowa*, WNT, Warszawa 2007.
2. A. Chwaleba, M. Poniński, A. Siedlecki, *Metrologia elektryczna*, WNT, Warszawa 1998.

W czasie wykonywania ćwiczeń przestrzegaj przepisów BHP!

1. Wstęp

1.1. Definicje

Czujnik, sensor – fizyczny bądź biologiczny element będący z reguły elementem składowym większego systemu. Jego zadaniem jest wykrywanie, przechwytywanie z otaczającego środowiska różnego rodzaju sygnałów powiązanych z różnymi wielkościami fizycznymi, a następnie porównanie ze wzorcem i umożliwienie pomiaru. W elektronice stosuje się czujniki przetworniki wielkości elektrycznych takich jak: napięcie, prąd, pojemność i indukcyjność elektryczna, rezystancja, moc, energia, natężenia pola elektrycznego, natężenia pola magnetycznego. Ponadto stosuje się szeroką gamę czujników wielkości nieelektrycznych takich jak: temperatura, wilgotność, stężenie gazu, odległość/długość, prędkość, masa, ciśnienie akustyczne, odczyn, przepływy itd.

Czujniki możemy podzielić na **generacyjne** – zamieniające energię wielkości mierzonej na formę energii elektrycznej (termopara zamienia energię cieplną na generowane na zaciskach napięcie) oraz parametryczne, których parametr elektryczny ulega zmianie wskutek działania wielkości mierzonej (termorezystor zmienia swoją rezystancję wskutek działania temperatury).

W zależności od rozwiązania czujnik dostarcza informacji o pojawieniu się określonego bodźca, przekroczeniu pewnej wartości progowej lub o wartości rejestrowanej wielkości fizycznej. W takim ujęciu układ czujnika składa się z: **czujnika, przetwornika, układu kondycjonowania sygnału, układu telemetrycznego**. Przykładem realizacji niniejszego systemu może być moduł pomiaru siły/ masy, gdzie czujnikiem jest osadzony na belce czujnik tensometryczny, przetwornikiem jest moduł pomiaru rezystancji, układem kondycjonowania sygnału jest wzmacniacz z filtrami dolnoprzepustowymi, a układem telemetrycznym jest mikrokontroler wyposażony w przetwornik A/C i moduł radiowy.

Najczęściej spotyka się czujniki dostarczające informację w jednej z następującej wielkości elektrycznych (sygnały analogowe): napięcie, natężenie prądu, opór elektryczny, częstotliwość. Jest to spowodowane tym, iż prąd elektryczny to sygnał, który łatwo wzmocnić, przesłać na duże odległości, poddać dalszemu przetwarzaniu przy użyciu technik cyfrowych i komputerów, a także dokonać zapisu w pamięci nieulotnej. Najbardziej rozpowszechnionymi standardami jest sygnał napięciowy 0-10V oraz często stosowany w przemyśle sygnał prądowy 4-20 mA.

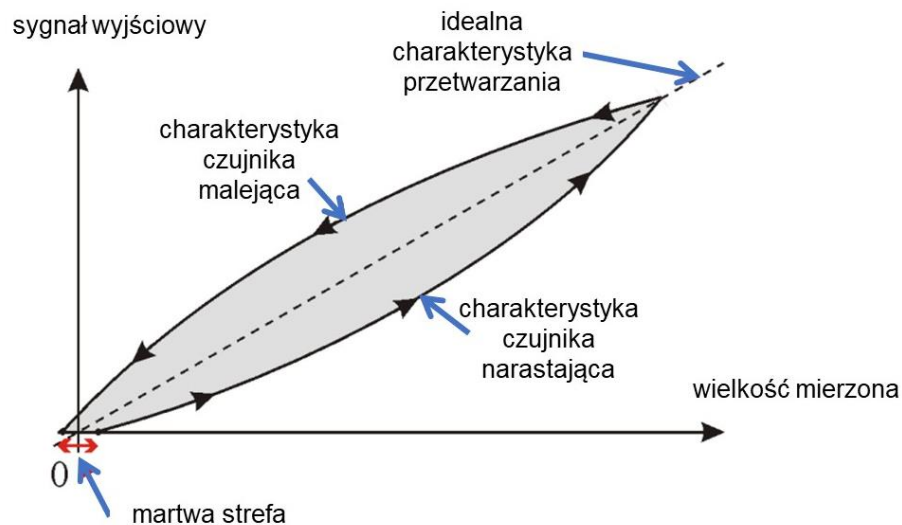
W przypadku wyjść cyfrowych mówi się o tzw. **interfejsach**. Do najbardziej popularnych należy tu zaliczyć: RS232, RS485, UART, GPIB, USB, Ethernet, I²C, SPI, 1-wire, CAN itp. Kluczowe cechy którymi można opisać interfejsy to: zasięg transmisji, szybkość przesyłu danych, rodzaj topologii i sposób zarządzania transmisją z wielu jednostek. Osobną kategorią interfejsów które stają się powszechne jako elementy konstrukcji czujników, są moduły komunikacji radiowej (Bluetooth, WIFI).

Podstawowymi parametrami opisującymi czujnik są: wielkość mierzona (np. temperatura) i zakres (np. -30 / +110°C). Należy pamiętać, że przekroczenie zakresu może zarówno spowodować nieprawidłowe działanie urządzenia wykorzystujące informacje o wielkości mierzonej (np. w przypadku podanego wcześniej czujnika brak prawidłowej reakcji na temperaturę powyżej 110°C), jak również potencjalnie uszkodzenie lub zniszczenie czujnika. W dalszej konsekwencji dojść może do tragicznych w skutkach konsekwencji, gdy komputer sterujący zaawansowanym systemem, w oparciu o błędne dane, będzie sterować w sposób niezgodny z zamierzeniami konstruktorów.

W zdefiniowanym przez producenta zakresie pomiarowym czujnik powinien zachować

dokładność (klasę), czyli jego wskazania nie powinny utrzymywać się w granicach błędu granicznego. Szczegółowe informacje na ten temat dostępne są w karcie katalogowej czujnika. Podobnie jak w przypadku przyrządów pomiarowych, na dokładność pomiaru mają wpływ błędy statyczne (gdy sygnał wejściowy i wyjściowy nie zmieniają się w czasie, lub zmieniają się na tyle wolno, że parametry statyczne opisują zachowanie się czujnika z wystarczającą dokładnością) oraz dynamiczne (gdy sygnały wejściowy i wyjściowy ulegają zmianie w funkcji czasu). Stan dynamiczny może być ustalony gdy określone parametry (amplituda, wartość skuteczna) sygnału nie zmieniają się, lub nieustalony (gdy czujnik przechodzi z jednego stanu ustalonego do drugiego). W obrębie błędów statycznych można wskazać błędy addytywne oraz multiplikatywne. Ich źródło pochodzenia, identyfikacja oraz ograniczanie są analogiczne jak w przypadku przyrządów pomiarowych wielkości elektrycznych. Do błędów dynamicznych zalicza się m.in. czas ustalania odczytu, który determinuje ilość odczytów które można wykonać w jednostce czasu (w przypadku czujników z interfejsem cyfrowym nazywana również częstotliwością próbkowania – s/s, czyli samples/second).

W zależności od realizacji detekcji wielkości mierzonej, charakterystyka przetwarzania (zależność sygnału wyjściowego od wejściowego) czujnika może mieć charakter nieliniowy lub liniowy. W pierwszym przypadku, ze względu na dążenie do ułatwienia przetwarzania i interpretacji danych pomiarowych, w miarę możliwości w układach kondycjonujących sygnał wprowadza się linearyzację sygnału wyjściowego. W przypadku gdy system czujnikowy dostarcza wartość liniowo zależną od wielkości mierzonej, ocenie można poddać liniowość charakterystyki (odchylenia od idealnego równania $y=ax+b$) oraz histerezę (nieliniowości tworzące symetryczną względem charakterystyki liniowej pętlę przetwarzania).



Rys. 1 Pętla histerezy przetwarzania czujnika

Obecność histerezy przetwarzania może skutkować istnieniem tzw. strefy martwej, w obrębie której zmiana wielkości mierzonej nie powoduje zmiany na wyjściu czujnika. W przypadku braku histerezy można również stwierdzić pewną minimalną wartość wielkości mierzonej przy której na wyjściu czujnika pojawi się odpowiedź. Taką wartość nazywa się czułością progową.

Na podstawie charakterystyki przetwarzania można wyznaczyć czułość oraz stałą przetwornika (definicje brzmią analogicznie jak w typowych przyrządach pomiarowych). W

przypadku charakterystyki liniowej przechodzącej przez środek układu współrzędnych, czułość można zdefiniować w następujący sposób:

$$S = \frac{Y}{X}$$

W przypadku gdy charakterystyka przetwarzania nie przechodzi przez punkt 0,0 układu współrzędnych, należy stosować zależność pozwalającą wyznaczyć czułość lokalną:

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

natomiast w przypadku charakterystyki nieliniowej, czułość będzie wyznaczana w danym jej punkcie:

$$S = \frac{\partial Y}{\partial X}$$

Kolejnym parametrem opisującym zdolność czujnika do rejestrowania zmian wielkości mierzonej jest rozdzielczość, którą definiuje się analogicznie do typowych przyrządów pomiarowych wielkości elektrycznych, czyli wskazującą minimalną wartość (zmianę) wielkości mierzonej, powodującą zmianę wartości odczytywalnej na wyjściu. W przypadku czujników z interfejsem cyfrowym, można mówić o ziarnie przetwarzania związanym z parametrami zastosowanego w układzie przetwornika analogowo-cyfrowego, którego rozdzielczość determinuje parametry urządzenia. W przypadku przyrządów z wyjściem analogowym, kluczowym parametrem ograniczającym rozdzielczość mogą być parametry szumowe (zmiany sygnału wejściowego przy braku zmiany wartości mierzonej). Rozpiętość wartości sygnału wyjściowego (min-maks) ograniczają możliwość stwierdzenia zmiany wielkości mierzonej. Problem ten może być ograniczony poprzez uśrednianie serii pomiarowej sygnału wyjściowego (zastosowanie filtru dolnoprzepustowego), jednak będzie to skutkowało zmniejszeniem dynamiki działania czujnika (liczbą odczytów w jednostce czasu).

Ze względu na obecność różnego rodzaju pobudzeń (również wielkości fizycznych które nie są mierzone, ale mogą wpływać na czujnik), stosuje się parametr nazywany selektywnością, a opisujący czułość układu na czynniki mogące zaburzać pomiar poprzez zmianę sygnału wyjściowego przy stałej wartości wielkości mierzonej. Przykładem takiego oddziaływania wielkości zakłócającej na czujnik może być wpływ temperatury na działanie czujnika gazu, czy też wpływ napięcia zasilającego na odpowiedź czujnika odległości. Parametr ten można zdefiniować jako procentową zmianę sygnału wyjściowego na jednostkową zmianę wielkości zakłócającej

$$\sigma = \frac{\Delta Y}{Y \times \Delta Z}$$

Z punktu widzenia aplikacyjnego (rodzaj urządzenia, obszar jego zastosowania) istotnymi kryteriami są również: zakres napięcia zasilania / pobór mocy, zakres warunków pracy (temperatura, wilgotność, drgania) oraz cena, wymiary oraz masa.

2. Przebieg ćwiczenia

Przed przystąpieniem do ćwiczeń laboratoryjnych należy zapoznać się z kartami katalogowymi załączonymi do niniejszej instrukcji. Szczególną uwagę należy zwrócić na parametry pracy czujników (wykorzystywane w procesie przetwarzania zjawiska fizyczne, parametry zasilania, zakres pomiarowy, kształt charakterystyki przetwarzania, dokładność).

Przed włączeniem układu pomiarowego poprosić prowadzącego o sprawdzenie poprawności połączeń.

Dla ćwiczeń gdzie charakterystyka przetwarzania będzie miała charakter liniowy, wyznaczyć jej nieliniowość.

1. Badanie optycznego czujnika odległości (TCRT5000).

Podłączyć czujnik do zasilacza laboratoryjnego, na którym wcześniej należy ustawić napięcie zasilania zgodnie z informacjami zawartymi w karcie katalogowej.

Wyjście czujnika podłączyć do multimetru Agilent i skonfigurować go do pomiaru sygnału wyjściowego zgodnie z informacją zawartą w karcie katalogowej.

Ustawić czujnik na początku skali linijki, a za pomocą przesuwne go elementu ustalać mierzona odległość od wartości 0, do momentu stwierdzenia braku odpowiedzi na wyjściu czujnika. Pomiary przeprowadzać z krokiem nie większym niż 2 mm. Następnie wykonać serię powrotną (zmniejszając odległość). Pomiary powtórzyć dla napięcia zasilania obniżonego o 500 mV i 1 V od napięcia znamionowego.

Dla wszystkich wartości napięcia zasilania, w trzech punktach charakterystyki wyznaczyć czułość, rozdzielczość pomiarową (ocenić minimalną zmianę pozycji elementu przesuwne go, dla której da się zauważyć zmianę wartości mierzonej). W tych samych miejscach dokonać odczytu dziesięciu kolejnych wartości i ocenić przedział szumowy sygnału wyjściowego. Na podstawie tych danych ocenić rozdzielczość pomiarową czujnika.

Wyznaczyć selektywność pomiarową czujnika w odniesieniu do napięcia zasilania (% zmian sygnału wyjściowego na 1mV).

2. Badanie optycznego czujnika barw.

Podłączyć czujnik do zasilacza laboratoryjnego, na którym wcześniej należy ustawić napięcie zasilania 5V.

Wyjście czujnika podłączyć do multimetru Agilent i skonfigurować go do pomiaru napięcia na zakresie 10V.

Stosując elementy z wydrukowaną skalą szarości dokonywać odczytu sygnału wyjściowego, oceniając parametry szumowe analogicznie jak we wcześniejszym punkcie.

Pomiary powtórzyć dla wartości napięcia zasilającego obniżonego o 500 mV i 1 V od napięcia znamionowego.

Na podstawie pomiarów wyznaczyć: liniowość charakterystyki przetwarzania, rozdzielczość pomiarową oraz selektywność w odniesieniu do napięcia zasilania.

3. Badanie inklinometru (ADXL327).

Podłączyć czujnik do zasilacza laboratoryjnego, na którym wcześniej należy ustawić napięcie zasilania zgodnie z informacjami zawartymi w karcie katalogowej. Wyjścia czujnika (kanał X oraz kanał Y) podłączyć do multimetrów Agilent i skonfigurować je do pomiaru sygnału wyjściowego zgodnie z informacją zawartą w karcie katalogowej.

Ustawić czujnik na początku skali linijki, następnie dokonując obrotu o 540°(obliczyć na podstawie relacji obrotu do kąta obrotu) rejestrować wartości napięć na obu kanałach. Pomiary powtórzyć dla napięcia zasilania obniżonego o 500 mV i 1 V od napięcia znamionowego.

Dla wszystkich wartości napięcia zasilania, w trzech punktach charakterystyki wyznaczyć czułość, rozdzielczość pomiarową (ocenić minimalną zmianę pozycji elementu przesuwnego, dla której da się zauważyć zmianę wartości mierzonej). W tych samych miejscach dokonać odczytu dziesięciu kolejnych wartości i ocenić przedział szumowy sygnału wyjściowego. Na podstawie tych danych ocenić rozdzielczość pomiarową czujnika.

Na podstawie pomiarów wyznaczyć: liniowość charakterystyki przetwarzania, rozdzielczość pomiarową oraz selektywność w odniesieniu do napięcia zasilania.

4. Badanie czujnika tętna

Podłączyć czujnik do zasilacza laboratoryjnego, na którym wcześniej należy ustawić napięcie zasilania 5V.

Sygnał wyjściowy z czujnika podłączyć do wejścia oscyloskopu. Czujnik umieścić na palcu (uwaga! Paznokcie nie mogą być pomalowane!) w taki sposób, aby dioda nadawcza i odbiorcza były umieszczone względem siebie przeciwległe po obu stronach palca i regulując parametry akwizycji sygnału na oscyloskopie, zarejestrować przebieg uwidaczniający tętno. Dokonać odczytu częstotliwości sygnału oraz wartości pik-pik. Przebieg można zarejestrować aparatem fotograficznym.

5. Badanie czujnika dotyku (TTP 223)

Podłączyć czujnik do zasilacza laboratoryjnego, na którym wcześniej należy ustawić napięcie zasilania zgodnie z informacjami zawartymi w karcie katalogowej. Wyjścia czujnika (kanał X oraz kanał Y) podłączyć do multimetrów Agilent i skonfigurować je do pomiaru sygnału wyjściowego zgodnie z informacją zawartą w karcie katalogowej.

Stosując zestaw przekładek zbadać maksymalny dystans między palcem a czujnikiem, dla którego następuje jeszcze detekcja (zmiana sygnału wyjściowego).

6. Badanie ultradźwiękowego czujnika odległości (HCSR04)

Podłączyć czujnik do zasilania i ustawić go na początku skali linijki, a za pomocą przesuwnego elementu ustalać mierzoną odległość od wartości 0, do momentu stwierdzenia braku odpowiedzi na wyjściu czujnika. Pomiary przeprowadzać z krokiem nie większym niż 10 mm. Serię wykonać dla dwóch rodzajów materiału na elemencie przesuwnym. Na podstawie wyników zdefiniować: zakres pomiarowy, liniowość charakterystyki przetwarzania, rozdzielczość pomiarową.

7. Badanie czujnika temperatury (LM35)

Podłączyć czujnik do zasilacza laboratoryjnego, na którym wcześniej należy ustawić napięcie zasilania zgodnie z informacjami zawartymi w karcie katalogowej. Wyjście czujnika podłączyć do multimetru Agilent i skonfigurować go do pomiaru zgodnie z informacją o parametrach sygnału wyjściowego. Wykonać pomiary parametrów szumowych i na ich podstawie oszacować rozdzielczość pomiarową czujnika. Dokonać pomiarów sygnału wyjściowego zmniejszając napięcie zasilające z krokiem 100 mV. Wyznaczyć selektywność czujnika.