

BADANIE STATYCZNYCH WŁAŚCIWOŚCI PRZETWORNIKÓW POMIAROWYCH

1. CEL ĆWICZENIA

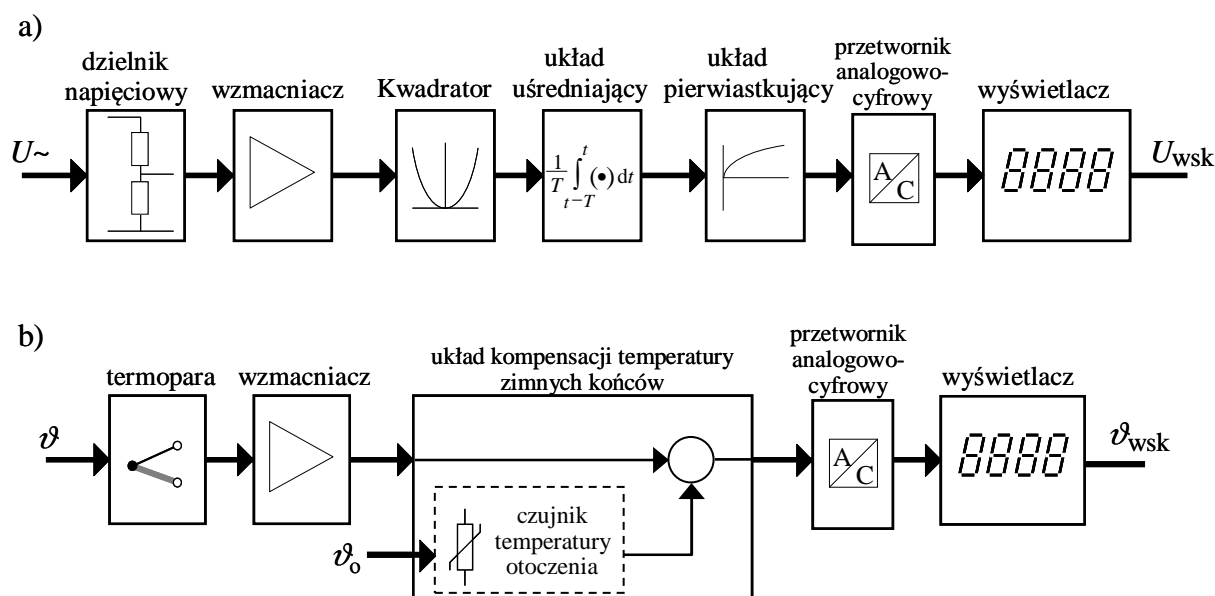
Celem ćwiczenia jest poznanie:

- podstawowych pojęć dotyczących statycznych właściwości przetworników pomiarowych analogowych i cyfrowych oraz sposobów opisu tych właściwości,
- sposobów wyznaczania charakterystyk przetworników,
- sposobów wyznaczania parametrów liniowych i nieliniowych modeli przetworników.

2. WPROWADZENIE

2.1, Przetwornik pomiarowy

Przyrządy pomiarowe dokonują odwzorowania wielkości mierzonej na wskazanie, np. mierzonego napięcia na wskazywaną liczbę działek na skali lub liczbę wyświetlaną na wyświetlaczu cyfrowym. Odwzorowanie to zwykle dokonywane jest nie bezpośrednio, lecz jako wynik pewnego ciągu odwzorowań pośrednich realizowanych przez poszczególne elementy składowe przyrządu pomiarowego, nazywane **przetwornikami pomiarowymi**. Przetworniki takie połączone w pewną strukturę nazywamy **torem pomiarowym**. Przykładowe struktury przyrządów pomiarowych przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Połączenie łańcuchowe przetworników w woltomierzu cyfrowym wartości skutecznej napięcia zmiennego (a) oraz struktura termometru z czujnikiem termoelektrycznym (b) (U_{\sim} - napięcie mierzone, ϑ - temperatura mierzona, ϑ_0 - temperatura otoczenia, U_{wsk} , ϑ_{wsk} - wartości wskazywane)

W przedstawionych torach pomiarowych występuje wiele typów przetworników, klasyfikowanych ze względu na różne cechy i określanymi jako: liniowe i nieliniowe, analogowe, analogowo-cyfrowe i cyfrowe, statyczne i dynamiczne.

Niezależnie od typu, każdy przetwornik realizuje odwzorowanie **wielkości wejściowej X** na **wielkość wyjściową Y** poprzez przetwarzanie **sygnałów pomiarowych** (wejściowego s_X na wyjściowy s_Y). Przetwarzanie to realizowane jest według pewnych zasad fizycznych. Należy rozróżnić pojęcie sygnału pomiarowego od pojęcia wielkości mierzonej lub wyjściowej, a rozróżnienie to jest szczególnie istotne w przypadku przetworników analogowo-cyfrowych i cyfrowych. Sygnał pomiarowy (wejściowy lub wyjściowy dla przetwornika) jest wielkością fizyczną - np. napięciem, prądem, temperaturą, prędkością itp., której **jedna z cech** jest wielkością mierzoną lub wyjściową. Sygnał pomiarowy, jako wielkość fizyczna, niesie zawsze pewną energię (np. pobieraną przez wejście przetwornika). Wielkość mierzona, jako jedna z cech sygnału pomiarowego, nie musi być związana z energią – może mieć charakter informacji (np. wyświetlanej liczby lub wskazania na skali). Może oczywiście być również tak, że wielkość mierzona i sygnał pomiarowy są tożsame.

Przykład:

Sygnałem pomiarowym wejściowym jest napięcie elektryczne (wielkość fizyczna). Wielkością mierzoną może być jedna lub kilka z następujących cech tego napięcia:

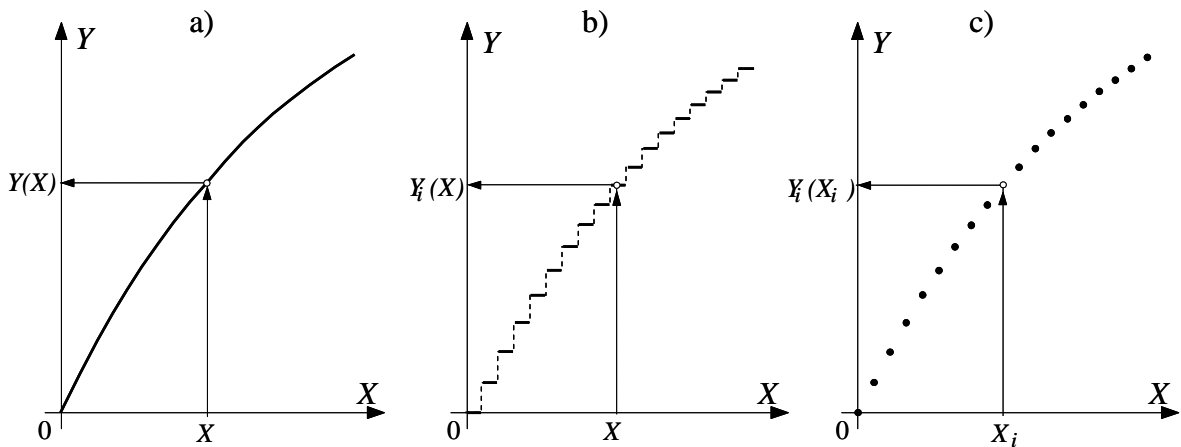
- wartość amplitudy, wartość skuteczna lub średnia tego napięcia,
- częstotliwość, okres zmian lub faza tego napięcia,
- współczynnik kształtu, współczynnik wypełnienia dla przebiegu impulsowego,
- liczba impulsów napięciowych, sekwencja tych impulsów tworząca pewien kod (informację) itp.

W świetle powyższych rozważań można sformułować następującą definicję:

Przetwornik pomiarowy jest obiektem fizycznym, który na podstawie pewnej zasady fizycznej odwzorowuje wartość pewnej wielkości wejściowej na wartość innej wielkości (wyjściowej), przy czym wymagamy, aby odbywało się to z określoną dokładnością. Wielkość wyjściową pierwszego przetwornika w torze pomiarowym określa się jako **wielkość mierzoną**. Wartości wielkości mierzonej mieszczą się w przedziale (X_{\min}, X_{\max}) , nazywanym **zakresem pomiarowym**.

Przetworniki pomiarowe mogą przetwarzać wielkości o charakterze ciągłym, tj. takie, których wartość wyrażona jest dowolną liczbą rzeczywistą (w zakresie pomiarowym) – mówimy wówczas o przetwornikach **analogowych**. Istnieją także przetworniki dla których wielkość wejściowa jest ciągła, a wyjściowa skwantowana, tj. przyjmuje wartości tylko ze zbioru przeliczalnego, np. liczby całkowite w pewnym zakresie. Przetworniki takie realizują operację kwantowania i nazywane są przetwornikami **analogowo-cyfrowymi**. Trzecia grupa przetworników – przetworniki **cyfrowe**, to te, dla których zarówno wielkość wejściowa jak i wyjściowa są skwantowane. Przykłady wymienionych przetworników w torze pomiarowym na rys. 1 to: analogowe – dzielnik, termopara, wzmacniacz, kwadrator i układ pierwiastkujący, analogowo-cyfrowy – przetwornik A/C i cyfrowy – wyświetlacz.

Dla przetworników analogowych charakterystyka przetwarzania jest linią ciągłą, dla analogowo-cyfrowych jest linią schodkową, a dla cyfrowych jest zbiorem punktów – przykłady pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Charakterystyki przetwarzania przetwornika analogowego (a), analogowo-cyfrowego (b) i cyfrowego (c)

2.2. Model matematyczny przetwornika pomiarowego

Zależność wielkości wyjściowej od wielkości wejściowej nazywana jest **modelem przetwornika**. Model ten najczęściej określony jest przez tzw. **równanie przetwarzania**:

$$Y = f(X), \quad (1)$$

przy czym określone są zakresy wielkości wejściowej X (zakres pomiarowy) i wyjściowej Y : $X \in (X_{\min}, X_{\max})$ i $Y \in (Y_{\min}, Y_{\max})$. Graficzna postać zależności (1) nazywana jest **charakterystyką przetwarzania przetwornika**.

Celem pomiarów jest określenie wartości wielkości mierzonej X . Można to zrealizować na podstawie wartości wielkości wyjściowej Y wykorzystując odwrotny model przetwornika, tj. **równanie odtwarzania**:

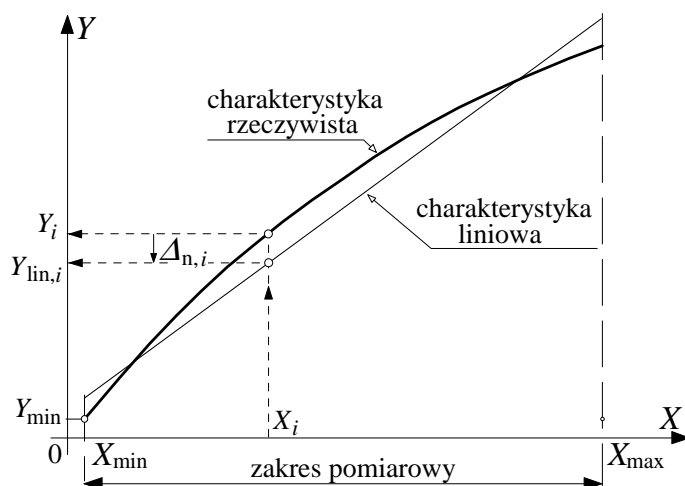
$$X = f^{-1}(Y), \quad (2)$$

gdzie f^{-1} oznacza funkcję odwrotną do funkcji tworzącej równanie przetwarzania (1).

W ogólnym przypadku wielkość mierzona może być zmienna w czasie $X=X(t)$ – mówimy wówczas o **miarach dynamicznych**¹, jednakże podstawowe znaczenie mają właściwości przetwornika określone dla wielkości wejściowej niezmiennej w czasie wykonywania pomiarów $X=\text{const}$ – mówimy wówczas o **miarach statycznych**. Charakterystykę przetwarzania wyznaczoną w takich warunkach nazywa się **charakterystyką statyczną**.

Ze względu na dogodność obliczeń bardzo często stosowanym, choć zwykle uproszczonym, modelem przetwornika jest **model liniowy**. Przetworniki liniowe opisane są liniowym równaniem przetwarzania, a ich charakterystyka przetwarzania jest linią prostą. Przyjęcie liniowej postaci równania przetwarzania oznacza dokonanie aproksymacji (przybliżenia) rzeczywistej charakterystyki przetwornika linią prostą. Odchylenia charakterystyki rzeczywistej od przybliżającej ją linii prostej określane są jako **błędy nieliniowości** (Δ_n) przetwornika. Na rysunku 3 pokazano przykładową charakterystykę rzeczywistą przetwornika oraz przybliżającą ją charakterystykę liniową.

¹ Zagadnienia dotyczące pomiarów dynamicznych i właściwości przetworników pomiarowych istotnych w takim przypadku omawiane są w [ćwiczeniu](#) *Badanie dynamicznych właściwości przetworników pomiarowych*.



Rys. 3. Aproxymacja charakterystyki przetwornika modelem liniowym

Nachylenie charakterystyki nazywane jest **czułością przetwornika** (oznaczaną zwykle litera S). Jest to stosunek przyrostu wielkości wyjściowej do wywołującego go przyrostu wielkości wejściowej. Odwrotnością czułości jest **stała przetwornika** (ozn. C). Równanie przetwarzania przetwornika liniowego można zatem zapisać w następującej postaci:

$$Y = Y_0 + S X, \quad (3)$$

gdzie Y_0 jest tzw. **przesunięciem zera** ($Y = Y_0$ dla $X = 0$).

Wartość wielkości wejściowej oblicza się z równania odwrotnego:

$$X = \frac{Y - Y_0}{S} = C(Y - Y_0). \quad (4)$$

Jeżeli przesunięcie charakterystyki jest równe zero (tzn. dla $X_{min} = 0$ zachodzi $Y_{min} = Y_0 = 0$), to wzory (3) i (4) sprowadzają się do prostych i często stosowanych postaci: $Y = S \cdot X$ i $X = C \cdot Y$.

Czułość definiowana jest również dla przetworników o nieliniowym równaniu przetwarzania jako

$$S(X) = \frac{dY(X)}{dX} \approx \frac{\Delta Y}{\Delta X} \Big|_{X \in (X, X + \Delta X)}. \quad (5)$$

W tym przypadku czułość nie jest parametrem o stałej wartości. Pojęcie odwrotne do czułości, tj. stała nie jest w tym przypadku definiowane.

Oprócz wyżej wymienionych parametrów (czułość, stała, zakres pomiarowy) istotne znaczenie ma tzw. **próg pobudliwości**, tj. najmniejsza zmiana wielkości mierzonej wywołująca dostrzegalną zmianę na wyjściu przetwornika. W przypadku przetworników analogowo-cyfrowych i cyfrowych próg pobudliwości jest tożsamy z **rozdzielczością**.

W przypadku przetworników elektrycznych, dla których sygnałem wejściowym i/lub wyjściowym jest napięcie lub prąd elektryczny, ważnym parametrem jest **rezystancja wejściowa** i/lub **rezystancja wyjściowa**.

2.3. Wrażliwość przetworników na wielkości wpływające

Dążeniem konstruktorów jest, aby wielkość wyjściowa przetwornika pomiarowego zależała wyłącznie od wielkości wejściowej. W praktyce jednak nie udaje się uniknąć wpływu innych wielkości dodatkowo oddziałujących na przetwornik. W rezultacie przetworniki rzeczywiste nigdy nie realizują odwzorowania wielkości wejściowej dokładnie według ich **nominalnego** (tzn. założonego, przyjętego za poprawny) modelu matematycznego. Przyczyny tej rozbieżności można podzielić na dwie grupy:

- wrażliwość na zmiany różnych znanych wielkości, dodatkowo wpływających na wartość wyjściową, a dla uproszczenia uważanych za niezmiennie, np. temperatury otoczenia, napięcia zasilania. Zbiór ustalonych (znamionowych) wartości lub przedziałów wartości tych wielkości tworzy tzw. **normalne warunki użytkowania przetwornika**,
- niedokładna znajomość zjawisk fizycznych wykorzystanych do realizacji przetwarzania lub pominięcie niektórych z nich dla uproszczenia analizy, a przez to pominięcie niektórych wielkości wpływających.

Charakterystyka rzeczywista przetwornika w chwili wykonywania pomiaru odbiega zatem od charakterystyki nominalnej, a różnica ta jest przyczyną **niedokładności pomiaru**.

Ilościowo wpływ każdej ze znanych wielkości wpływających określa się podając tzw. **wrażliwość** na tę właśnie wielkość, np.:

$$W_Z = \left. \frac{\Delta Y}{\Delta Z} \right|_{X=const} \quad (6)$$

gdzie ΔY oznacza zmianę wartości wielkości wyjściowej Y spowodowaną zmianą dowolnej wielkości wpływającej Z o ΔZ , przy niezmiennej wartości wielkości wejściowej X .

3. WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYKI STATYCZNEJ I RÓWNANIA PRZETWARZANIA

3.1. Wzorcowanie przetworników pomiarowych.

Charakterystyki przetwarzania wyznaczone są w praktyce nie na podstawie analizy zjawisk fizycznych określających zasadę działania przetwornika, lecz w procesie tzw. wzorcowania. **Wzorcowanie** polega na doprowadzeniu do wejścia przetwornika szeregu dokładnie znanych (wzorcowych) wartości wielkości mierzonej i odczytaniu odpowiadających im wartości wielkości wyjściowej. Wartości wszelkich znanych wielkości wpływających muszą być ustalone i znane. Na podstawie uzyskanego zbioru par liczb $(X_w, Y_w)_i$; $(i \geq 2)$ wykreśla się nominalną charakterystykę przetwarzania lub też, stosując metody regresji, wyznacza się równanie przetwarzania.

Układ pomiarowy wykorzystywany dla wyznaczenia charakterystyki statycznej przetwornika powinien zawierać źródło sygnału wejściowego, mierniki wzorcowe wielkości wejściowej i wyjściowej oraz urządzenia pozwalające ustalać wartości znanych wielkości wpływających i/lub mierniki tych wielkości.

Proces wzorcowania można podzielić na dwa etapy:

- 1° Wykonanie pomiarów wielkości wyjściowej dla pewnej liczby wartości wzorcowych wielkości wejściowej (w całym zakresie $X_{\min} \dots X_{\max}$), przy różnych wartościach wielkości wpływających.

2° Wyznaczenie charakterystyki statycznej (w sposób graficzny) lub równania przetwarzania (w sposób analityczny), a w dalszej kolejności parametrów przetwornika (czułość, przesunięcie zera, błąd nieliniowości, wrażliwości).

Metoda graficzna jest bardzo prosta, lecz mało dokładna. Metoda analityczna z kolei wymaga uprzedniego założenia matematycznej postaci równania przetwarzania. Wyniki pomiarów służą w tym przypadku do obliczenia współczynników tego równania. Do obliczeń wykorzystywane są metody analizy regresji. Najczęściej stosowana jest regresja liniowa prowadząca do wyznaczenia czułości przetwornika i przesunięcia zera.

3.2. Metoda analizy regresji dla modelu liniowego

Wyniki pomiarów pewnej liczby N wartości wielkości wyjściowej Y_i przetwornika odpowiadające różnym wartościom wielkości wejściowej X_i ($i=1..N$) przedstawiają na ogół zależność bardziej złożoną niż liniowa. Celem analizy regresji liniowej jest wyznaczenie współczynników b_0 i b_1 aproksymującego modelu liniowego o postaci danej ogólną zależnością:

$$Y_{lin} = b_0 + b_1 X, \quad (7)$$

takich, aby opisana tą zależnością prosta najlepiej (wg pewnego kryterium) przybliżyła rzeczywistą charakterystykę statyczną badanego przetwornika. Wartość $Y_{lin}(X)$ różni się od wartości rzeczywistej $Y(X)$ – patrz rys. 3, a różnica ta jest błędem nieliniowości modelu, określonym zależnością:

$$\Delta_n(X) = Y_{lin}(X) - Y(X). \quad (8)$$

Jako kryterium optymalnego wyznaczenia prostej regresji przyjmuje się zwykle minimalizację sumy kwadratów odchyleń poszczególnych punktów zmierzonych (X_i, Y_i), $i=1..N$, od charakterystyki modelowej (tzn. błędów nieliniowości), tj.:

$$\text{minimum} \left(\sum_{i=1}^N \Delta_{n,i}^2 \right) \quad (9)$$

Po przeprowadzeniu rachunków opartych na tym kryterium otrzymuje się wzory określające wartości współczynników modelu liniowego badanego przetwornika [np. 1]²:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}; \quad b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X} \quad (10)$$

gdzie: $\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$; $\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i$

Przybliżone równanie przetwornika dane jest zależnością (7), a jego współczynniki określone są związkami (10). Miarą jakości tego przybliżenia najczęściej jest **błąd średniokwadratowy**:

$$\Delta_{sr} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{lin,i} - Y_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta_{n,i}^2}, \quad (11)$$

² Większość kalkulatorów inżynierskich ma wbudowane funkcje umożliwiające obliczenie wartości tych współczynników na podstawie serii danych.

rzadziej zaś największa bezwzględna wartość błędu nieliniowości określonego zależnością (8) - tzw. **maksymalny błąd nieliniowości przetwornika** Δ_{\max} .

Uwaga: Współczynniki b_0 i b_1 wyznaczone w wyniku aproksymacji liniowej należy traktować jako estymatory parametrów przetwornika liniowej, tj. odpowiednio przesunięcia zera Y_0 i czułości S (wzór 3).

Możliwe jest wykorzystanie opisaney metody do wyznaczenia zależności funkcyjnej innej niż liniowa. Należy wówczas dokonać zmiany zmiennych według odpowiedniej transformacji nieliniowej. Przykładowo przy postulowanym dla przetwornika modelu wykładniczym:

$$Y = a_0 e^{a_1 X}, \quad (12)$$

można zastosować podstawienia:

$$Y_{\text{lin}} = \ln(Y); \quad b_0 = \ln(a_0); \quad b_1 = a_1, \quad (13)$$

uzyskując równanie liniowe

$$Y_{\text{lin}} = \ln(a_0 e^{a_1 X}) = \ln(a_0) + \ln(e^{a_1 X}) = b_0 + a_1 X = b_0 + b_1 X. \quad (14)$$

Następnie należy wyznaczyć parametry prostej regresji o postaci (7). Po określeniu współczynników b_0 i b_1 modelu liniowego (7) według wzorów (10) należy, na podstawie zależności odwrotnych do (13), obliczyć współczynniki a_0 i a_1 modelu nieliniowego (12).

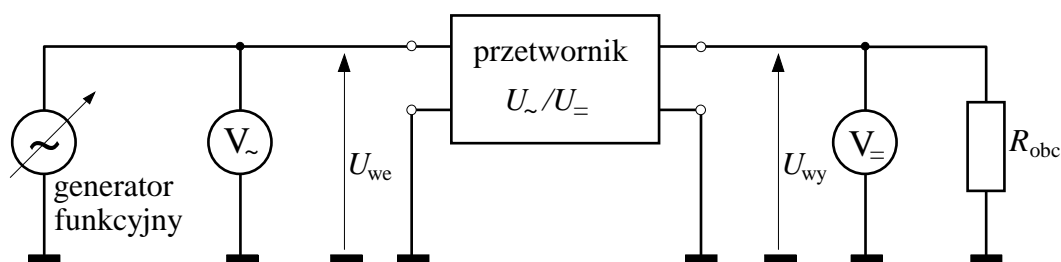
Postulowaną postać (typ funkcji) modelu nieliniowego badanego przetwornika określa się na podstawie znajomości fizycznej zasady działania przetwornika lub częściej intuicyjnie na podstawie kształtu charakterystyki przetwarzania $Y=f(X)$ wykreślonej dla danych (X_i, Y_i) uzyskanych w procesie wzorcowania przetwornika.

Współcześnie wiele programów komputerowych (np. Statgraf, Statistica, Mathcad, a nawet Excel) umożliwia wyznaczenie współczynników dla szeregu typowych modeli nieliniowych. Pozwala to uniknąć dość żmudnych obliczeń przy opracowaniu danych.

4. PROGRAM ĆWICZENIA

4.1. Badanie przetwornika $U_{\sim}/U_{=}$

Przetwornik ten dokonuje odwzorowania wartości skutecznej napięcia przemiennego na wartość napięcia stałego. Wielkościami wpływającymi mogą być częstotliwość oraz kształt napięcia wejściowego, a także rezystancja obciążenia przetwornika przez dalszą część toru pomiarowego.



Rys. 4. Schemat układu pomiarowego do wzorcowania przetwornika $U_{\sim}/U_{=}$

Przebieg pomiarów:

- dokonać pomiarów napięcia wejściowego (wartość skuteczna) i wyjściowego przetwornika (minimum 10 punktów w zakresie $U_{we} = (0...5)$ V, przy częstotliwości napięcia wejściowego 50 Hz oraz 5 kHz, przy rezystancji obciążenia 100 Ω i 1 k Ω ,
- dokonać pomiaru wpływu częstotliwości na wartość napięcia wyjściowego z zakresie $f = (50...10000)$ Hz, przy stałej wartości skutecznej napięcia wejściowego 1 V i 5 V.

Opracowanie wyników:

- wykreślić charakterystyki przetwarzania dla obu częstotliwości i rezystancji obciążenia,
- wyznaczyć graficznie czułość przetwornika w każdym przypadku,
- obliczyć współczynniki modeli liniowych metodą analizy regresji; wykreślić charakterystyki modelowe (na tych samych rysunkach co charakterystyki zmierzone); porównać czułości wyznaczone graficznie i analitycznie,
- wykreślić charakterystyki błędów modeli liniowych (błędów nieliniowości),
- scharakteryzować dokładność uzyskanych modeli liniowych przetworników podając błąd średniokwadratowy i maksymalny,
- wykreślić charakterystyki częstotliwościowe przetwornika, wyznaczyć współczynnik wpływu częstotliwości na czułość (wrażliwość na zmianę częstotliwości) średni dla całego zakresu zmian częstotliwości.

4.2. Badanie kwadratora

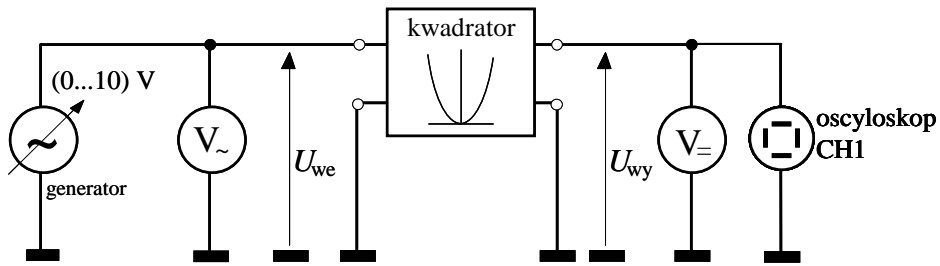
Kwadrator jest często stosowanym przetwornikiem nieliniowym, którego napięcie wyjściowe jest proporcjonalne do kwadratu napięcia wejściowego:

$$U_{wy} = a \cdot U_{we}^2 + b \quad (14)$$

gdzie a i b są stałymi współczynnikami. W idealnym przypadku współczynnik b powinien być równy zeru.

Przebieg pomiarów:

- w układzie jak na rysunku 5 dokonać pomiaru napięcia wejściowego i wyjściowego przetwornika (minimum 15 punktów w zakresie $U_{we} = (0...10)$ V, przy częstotliwości 50 Hz.
- naszkicować w protokole charakterystyki statyczne i na podstawie rysunków określić użyteczny zakres przetwarzania (tj. U_{min} i U_{max}) badanego kwadratora.
- powtórzyć pomiary (minimum 10 punktów) w zakresie $U_{we} = (U_{max}...U_{min})$, przy częstotliwości 50 Hz i 10 kHz.
- podłączyć na wejście kwadratora źródło napięcia przemiennego o kształcie przebiegu piłokształtnym lub trójkątnym; zaobserwować na ekranie oscyloskopu (i zarejestrować) przebiegi czasowe napięć na wejściu i na wyjściu kwadratora przy różnych częstotliwościach.



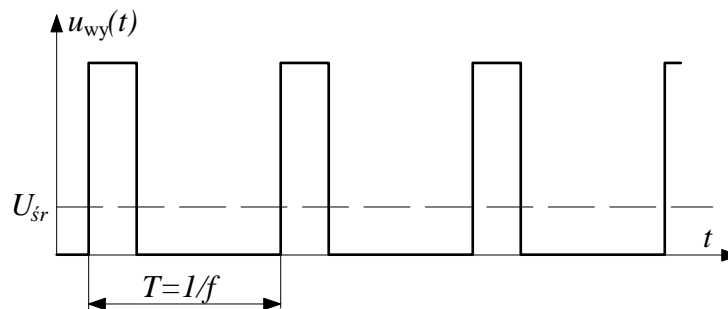
Rys. 5. Schemat układu pomiarowego do wzorcowania kwadratora

Opracowanie wyników:

- wykreślić charakterystyki przetwarzania uzyskane dla wszystkich przypadków,
- obliczyć współczynniki modelu metodą analizy regresji z zastosowaniem zmiany zmiennych (podać w sprawozdaniu wykorzystywane podstawienia i zależności),
- wykreślić charakterystyki modelowe (na tym samym rysunku co charakterystyki zmierzone),
- wykreślić charakterystyki błędów modelu przetwornika,
- scharakteryzować dokładność badanego przetwornika.

4.3. Wyznaczanie charakterystyk przetwornika z wyjściowym sygnałem impulsowym

Wielkością wejściową tego typu przetwornika może być rezystancja czujnika pomiarowego (np. czujnika temperatury, ciśnienia, przemieszczenia), a impulsowy sygnał wyjściowy ma postać pokazaną na rysunku 6.

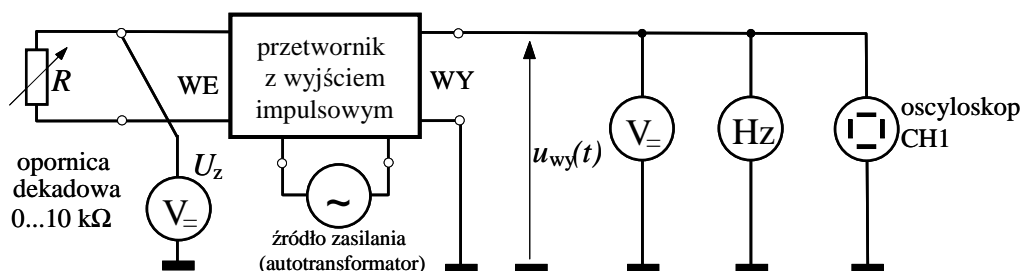


Rys. 6. Sygnał impulsowy na wyjściu przetwornika

Jako wielkość wyjściowa może być przyjęta każda z następujących cech sygnału wyjściowego:

- wartość średnia napięcia U_{sr}
- okres impulsów T , częstotliwość impulsów $f=1/T$,
- współczynnik wypełnienia przebiegu.

Układ pomiarowy do wyznaczania charakterystyk statycznych pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Układ do wzorcowania przetwornika z wyjściem impulsowym

Przebieg pomiarów:

- obejrzeć sygnał wyjściowy na ekranie oscyloskopu dla różnych wartości wielkości wejściowej R i napięcia zasilającego U_z ; zanotować spostrzeżenia,
- wyznaczyć charakterystyki przetwarzania R/U_{sr} i R/f (dla wielkości wejściowej R w zakresie (0...10) k Ω przy dwóch wartościach napięcia zasilania U_z , np. 5 V i 10 V).

Opracowanie wyników:

- wykreślić charakterystyki przetwarzania $U_{sr}=f(R)$, $f=f(R)$ oraz $T=f(R)$
- na podstawie kształtu wykresów zaproponować typ zależności funkcyjnej opisującej każdą z charakterystyk,
- obliczyć współczynniki modeli metodą analizy regresji z ewentualnym zastosowaniem zmiany zmiennych;
- wykreślić charakterystyki modelowe (na tych samych rysunkach co charakterystyki zmierzone),
- wykreślić charakterystykę błędów modelu przetwornika,
- określić wpływ napięcia zasilania na parametry przetwornika,
- scharakteryzować dokładność przetwornika.

5. PYTANIA KONTROLNE

- a) Co oznaczają określenia „przetwornik pomiarowy”, „tor pomiarowy” i „przyrząd pomiarowy”?
- b) Omówić podstawowe pojęcia dotyczące przetworników pomiarowych.
- c) Czy możliwe są różne równania przetwarzania dla tego samego przetwornika?
- d) Jaki jest mechanizm oddziaływania wielkości wpływających na wynik pomiaru.
- e) Wymienić przykładowe zastosowania przetworników badanych w ćwiczeniu.
- f) Podać inne przykłady przetworników pomiarowych liniowych i nieliniowych, w szczególności przetworników wielkości nieelektrycznych na elektryczne.
- g) Dla którego z przetworników badanych w ćwiczeniu sygnał pomiarowy nie jest wielkością mierzoną lub wyjściową?
- h) Wskazać przyczyny błędów określenia parametrów modelu liniowego przetwornika metodą analizy regresji z wykorzystaniem wyników wzorcowania.
- i) Od czego zależy niedokładność wyznaczenia czułości przetwornika metodą graficzną?
- j) Jak zmienia się sygnał pomiarowy sinusoidalny przetwarzany przez przetwornik nieliniowy? Czy zjawisko to ma znaczenie przy przetwarzaniu wartości skutecznej?

Literatura uzupełniająca

1. Zakrzewski J., Kampik M.: *Sensory i przetworniki pomiarowe*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.
2. Piotrowski J., Kostyło K.: *Wzorcowanie aparatury pomiarowej*. PWN, Warszawa, 2012.