

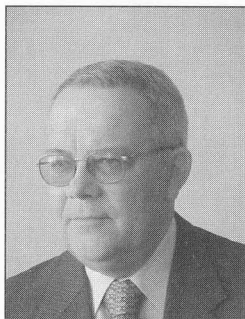
Brunon SZADKOWSKI, Adam CICHY

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT METROLOGII I AUTOMATYKI ELEKTROTECHNICZNEJ

Aktywne, quasi-zrównoważone układy do pomiaru składowych impedancji

Prof. dr hab. inż. Brunon SZADKOWSKI

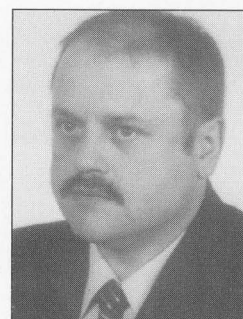
Profesor zwyczajny w Instytucie Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach, kierownik Zakładu Miernictwa Elektrycznego i Materiałowego. Autor bądź współautor ponad 100 publikacji z zakresu metrologii elektrycznej i miernictwa materiałowego.



bsz@polsl.gliwice.pl

Dr inż. Adam CICHY

Adiunkt w Instytucie Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Autor bądź współautor ponad 20 publikacji z zakresu metrologii elektrycznej. Główne zainteresowania naukowe: pomiary impedancji i jej składowych, zwłaszcza przy in-franiskich częstotliwościach.



cichy@wega.elekt.polsl.gliwice.pl

Streszczenie

W artykule zaprezentowano przykładowe rozwiązania aktywnych, quasi-zrównoważonych układów do pomiaru składowych impedancji, a następnie odpowiedni, ogólny schemat strukturalny takich układów wraz z ogólnym równaniem przetwarzania (ogólnym modelem matematycznym). Zwrócono uwagę na podstawowe cechy omawianych układów pomiarowych, którymi są: możliwość pomiaru dowolnej, ale tylko jednej ze składowych mierzonej impedancji, możliwość sprowadzania układu do stanu quasi-równowagi za pomocą jednego elementu regulacyjnego i tym samym zachowanie stałe maksymalnej zbieżności.

Abstract

In this paper some solutions of quasi-balanced circuits for impedance components measurements are presented. The general model of these circuits is presented as well. The basic properties of quasi-balanced circuits are: a possibility of measurement of one and only one component, only one regulation element and always maximal convergence.

Słowa kluczowe: układy quasi-zrównoważone, pomiary składowych impedancji

Keywords: quasi-balanced circuits, impedance components measurements

1. Wprowadzenie

Quasi-zrównoważone układy do pomiaru składowych impedancji są układami działającymi wyłącznie przy zasilaniu ze źródeł prądu przemiennego, sinusoidalnego. Układy te, podobnie jak układy zrównoważone, w celu uzyskania wyniku pomiarowego – należy sprowadzić do pewnego, wyróżnionego stanu, jednak nie jest to stan „zerowy”.

Układy quasi-zrównoważone sprowadzane są do pewnego stanu „quasi-równowagi” przy użyciu tylko jednego elementu regulacyjnego. W odróżnieniu od układów zrównoważonych (wymagających naprzemiennej regulacji dwoma elementami), w omawianych układach nie występuje problem tzw. zbieżności, gdyż przy regulacji jednym elementem zbieżność jest stałe maksymalna.

Do detekcji stanu quasi-równowagi nie mogą być stosowane wskaźniki zera; konieczne jest stosowanie specjalnych wskaźników fazoczułych. Najczęściej detekcji podlega kąt przesunięcia fazowego dwóch wybranych sygnałów układu.

Układy quasi-zrównoważone umożliwiają pomiar dowolnej, lecz tylko jednej składowej badanej impedancji. Jednak po prostej zmianie konfiguracji układu możliwy jest pomiar drugiej składowej impedancji.

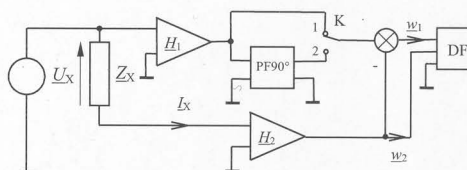
W literaturze znane są przede wszystkim quasi-zrównoważone układy mostkowe, zbudowane z elementów pasywnych [8, 9]. Bu-

dowa niemostkowych, aktywnych układów quasi-zrównoważonych nie jest jeszcze powszechnie znana, chociaż koncepcja takich układów oraz przykłady wybranych rozwiązań zostały zaproponowane przez autorów już w latach 1984 – 2003 [1- 7]. W dalszym ciągu niniejszego artykułu zostaną przedstawione przykłady realizacji aktywnych, quasi-zrównoważonych układów pomiarowych oraz odpowiedni, ogólny schemat strukturalny i model matematyczny tych układów.

2. Przykłady realizacji aktywnych, quasi-zrównoważonych układów do pomiaru składowych impedancji

Jak wspomniano w p. 1 – aktywne, quasi-zrównoważone układy pomiarowe umożliwiają pomiar dowolnej, lecz tylko jednej składowej badanej impedancji, przy czym po prostej zmianie konfiguracji układu możliwy jest pomiar drugiej składowej (co zostanie pokazane w prezentowanych przykładach).

Na rys. 1 przedstawiono schemat przełączalnego, quasi-zrównoważonego układu do pomiaru składowych rzeczywistej i urojonej impedancji Z_X [2].



Rys. 1 Schemat blokowy aktywnego, quasi-zrównoważonego, przełączalnego układu do pomiaru składowych impedancji Z_X

Poszczególne bloki i symbole na rys. 1 oznaczają:

- Z_X – badana impedancja;
- U_X, I_X – napięcie i prąd badanej impedancji Z_X
- w_1, w_2 – sygnały wyjściowe podlegające detekcji;
- H_1 – transmitancja przetwornika U_X/U ;
- H_2 – transmitancja przetwornika I_X/U ;
- K – przełącznik;
- PF90° – przesuwnik fazowy o kąt 90°;
- DF – detektor fazoczuły wykrywający stan $\arg w_1/w_2 = \pi/2$

Gdy przełącznik K jest w położeniu 1 – równania sygnałów w_1 i w_2 przyjmują postać:

$$\begin{cases} w_1 = H_1 U_X - H_2 I_X \\ w_2 = H_2 I_X \end{cases} \quad (1)$$

natomiast gdy przełącznik K jest w położeniu 2 odpowiednie równania przyjmują postać:

$$\begin{cases} w_1 = jH_1 U_x - H_2 I_x \\ w_2 = H_2 I_x \end{cases} \quad (2)$$

W stanie quasi-równowagi, tzn. gdy zachodzi związek $\arg w_1/w_2 = \pi/2$ (wykrywany przez detektor DF) – zachodzi również związek $\operatorname{Re}\{w_1/w_2\} = 0$. Zatem dla stanów quasi-równowagi osiągniętych w poszczególnych położeniach przełącznika K można zapisać:

– dla K w położeniu 1:

$$\operatorname{Re}\left\{\frac{w_1}{w_2}\right\} = \operatorname{Re}\left\{\frac{H_1}{H_2} Z_x - 1\right\} = 0 \quad (3)$$

– natomiast dla K w położeniu 2:

$$\operatorname{Re}\left\{\frac{w_1}{w_2}\right\} = \operatorname{Re}\left\{j\frac{H_1}{H_2} Z_x - 1\right\} = 0 \quad (4)$$

Z równań (3) i (4) przy założeniu, że transmitancje H_1 i H_2 są liczbami rzeczywistymi otrzymujemy zależności umożliwiające wyznaczenie składowych mierzonej impedancji:

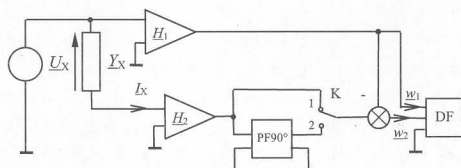
– dla K w położeniu 1:

$$\operatorname{Re}\{Z_x\} = \frac{H_2}{H_1} \quad (5)$$

– oraz dla K w położeniu 2:

$$\operatorname{Im}\{Z_x\} = m\frac{H_2}{H_1} \quad (6)$$

Na rys. 2 przedstawiono kolejny układ quasi-zrównoważony, przeznaczony do pomiaru składowych admittancji Y_x (znaczenia symboli identyczne jak na rys. 1).



Rys. 2 Schemat blokowy aktywnego, quasi-zrównoważonego, przełączalnego układu do pomiaru składowych admittancji Y_x

Dla układu z rys. 2 (w analogiczny sposób jak dla układu z rys. 1) można wyprowadzić równania umożliwiające wyznaczenie składowych badanej admittancji Y_x :

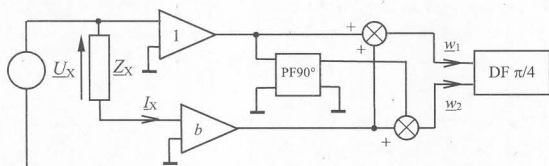
– dla K w położeniu 1:

$$\operatorname{Re}\{Y_x\} = \frac{H_2}{H_1} \quad (7)$$

– dla K w położeniu 2:

$$\operatorname{Im}\{Y_x\} = m\frac{H_2}{H_1} \quad (8)$$

Na rys. 3 przedstawiono aktywny, quasi-zrównoważony układ do pomiaru modułu impedancji $|Z_x|$.



Rys. 3 Schemat blokowy aktywnego układu quasi-zrównoważonego do pomiaru modułu impedancji $|Z_x|$

Zwróćmy uwagę, że w układzie na rys. 3 zastosowano inny niż w poprzednich układach detektor DF $\pi/4$, wykrywający stan quasi-równowagi $\operatorname{Re}(w_1/w_2) = 1$ (tzn. $\arg w_1/w_2 = \pi/4$).

Pozostałe oznaczenia symboli na rys. 3 są identyczne jak na rys. 1, przy czym b oznacza transmitancję konwertera I/U (b jest liczbą rzeczywistą).

W omawianym układzie sygnały w_1 i w_2 (podlegające detekcji) opisane są zależnościami:

$$\begin{cases} w_1 = U_x + bI_x \\ w_2 = jU_x + bI_x \end{cases} \quad (9)$$

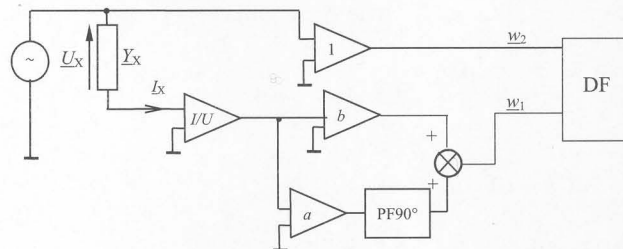
Po sprowadzeniu układu z rys. 3 do stanu quasi-równowagi określonym relacją:

$$\frac{\operatorname{Re}\left(\frac{w_1}{w_2}\right)}{\operatorname{Im}\left(\frac{w_1}{w_2}\right)} = 1 \quad (10)$$

moduł badanej impedancji można wyznaczyć z równania [6]:

$$|Z_x| = b \quad (11)$$

Na rys. 4 przedstawiono kolejny schemat blokowy aktywnego układu quasi-zrównoważonego, przeznaczonego do pomiaru współczynnika strat dielektrycznych $\operatorname{tg}\delta$.



Rys. 4 Schemat blokowy aktywnego układu quasi-zrównoważonego do pomiaru współczynnika strat dielektrycznych $\operatorname{tg}\delta$

W układzie na rys. 4 zastosowano ponownie detektor DF wykrywający stan quasi-równowagi $\arg w_1/w_2 = \pi/2$, czyli $\operatorname{Re}(w_1/w_2) = 0$, natomiast symbole a i b są liczbami rzeczywistymi i oznaczają transmitancje (wzmocnienia) wzmacniaczy.

W omawianym układzie sygnały podlegające detekcji w_1 i w_2 opisane są zależnościami:

$$\begin{cases} w_1 = bkI_x + jakI_x \\ w_2 = U_x \end{cases} \quad (12)$$

gdzie k – stała konwertera I/U w torze prądowym I_x .

Po sprowadzeniu układu z rys. 4 do stanu quasi-równowagi określonym relacją:

$$\operatorname{Re}\left(\frac{w_1}{w_2}\right) = 0 \quad (13)$$

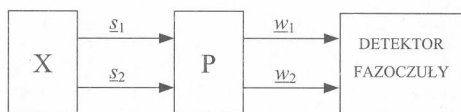
otrzymujemy następujące równanie na wyznaczenie współczynnika strat dielektrycznych badanej admittancji (wg definicji: $\operatorname{tg}\delta = \operatorname{Re}I_x/\operatorname{Im}I_x$):

$$\operatorname{tg}\delta_x = \frac{a}{b} \quad (14)$$

We wszystkich prezentowanych układach (rys. 1 – 4) osiąganie stanów quasi-równowagi następuje w wyniku regulacji jednym elementem nastawnym (odpowiednio jednym z: H_1 , H_2 , b). Jest to bardzo istotna cecha omawianych układów, z której wynika, że nie jest potrzebna naprzemienna regulacja dwoma elementami (jak w układach zrównoważonych prądu przemiennego), a więc zbieżność układów quasi-zrównoważonych jest stale maksymalna.

3. Ogólny schemat i model matematyczny układów quasi-zrównoważonych

Dokonując syntezy schematów przedstawionych w p. 2 – można zaproponować ogólny schemat strukturalny rozważanych, quasi-zrównoważonych układów do pomiaru składowych immitancji \underline{X} (tzn. impedancji bądź admittancji), który przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Ogólny schemat strukturalny quasi-zrównoważonych układów do pomiaru składowych immitancji \underline{X} (tzn. impedancji bądź admittancji)

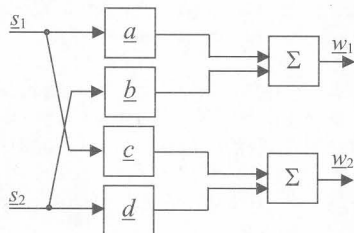
Poszczególne symbole na rys. 5 oznaczają:

- X – blok, w którym wytwarzane są sygnały pomiarowe s_1 i s_2 (zawierający mierzoną immitancję \underline{X} oraz układy zasilające);
 s_1 i s_2 – sygnały reprezentujące zamiennie prąd i napięcie badanej immitancji \underline{X} , przy czym: $\underline{X} = s_1 / s_2$;
 P – blok przetwarzania sygnałów s_1 i s_2 ;
 w_1 i w_2 – sygnały wyjściowe z przetwornika P ;

Detektor fazoczuby na wyjściu układu z rys. 1 służy do detekcji kąta przesunięcia fazowego ψ pomiędzy sygnałami w_1 i w_2 ; kąt ten jest argumentem stosunku zespolonych sygnałów w_1/w_2 i określony jest równaniem:

$$\psi = \arg \left[\frac{w_1}{w_2} \right] \quad (15)$$

W najbardziej ogólnym przypadku, blok P przetwarzania sygnałów s_1 i s_2 na odpowiednie sygnały wyjściowe w_1 i w_2 (por. rys. 5) można przedstawić za pomocą schematu jak na rys. 6.



Rys. 6. Schemat przetwornika P (por. rys. 5)

Symbole przedstawione na rys. 6 oznaczają:

- a, b, c, d – transmitancje wewnętrznych przetworników sygnałów s_1 i s_2 (wielkości zespolone);
 Σ – węzły sumacyjne

Zwróćmy uwagę, że przetwornik P musi być przetwornikiem liniowym, gdyż w rozważanych układach zakłada się sygnały sinusoidalnie zmienne.

Przyjmujemy, że stan quasi-równowagi w rozpatrywanych układach oznacza osiągnięcie stanu, w którym kąt przesunięcia fazowego ψ (por. równ. 15) osiąga pewną z góry założoną wartość α , tzn.

$$\text{w stanie quasi-równowagi: } \Psi = \alpha \quad (16)$$

Dla schematów przedstawionych na rys. 5 i 6, w pracy [5] wyprowadzono ogólne równanie przetwarzania w postaci:

$$\begin{aligned} (q \cdot p_5 - p_1) \cdot |\underline{X}|^2 + (q \cdot p_6 - p_2) \cdot \text{Re}[\underline{X}] + \\ (q \cdot p_7 - p_3) \cdot \text{Im}[\underline{X}] + (q \cdot p_8 - p_4) = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

gdzie:

- $q = \tan \alpha$ – tangens kąta fazowego α , wybranego jako stan quasi-równowagi;
 $p_1 \dots p_8$ – współczynniki związane z zespolonymi parametrami a, b, c, d przetwornika P wg następujących zależności:

$$p_1 = \text{Im}[a \cdot \bar{c}] \quad (18)$$

$$p_2 = \text{Im}[a \cdot \bar{d} + b \cdot \bar{c}] \quad (19)$$

$$p_3 = \text{Re}[a \cdot \bar{d} - b \cdot \bar{c}] \quad (20)$$

$$p_4 = \text{Im}[b \cdot \bar{d}] \quad (21)$$

$$p_5 = \text{Re}[a \cdot \bar{c}] \quad (22)$$

$$p_6 = \text{Re}[a \cdot \bar{d} + b \cdot \bar{c}] \quad (23)$$

$$p_7 = -\text{Im}[a \cdot \bar{d} - b \cdot \bar{c}] \quad (24)$$

$$p_8 = \text{Re}[b \cdot \bar{d}] \quad (25)$$

Równanie (17) ma dość złożoną postać. Wynika to z daleko idącego uogólnienia przetwornika P , dla którego założono pełny model, zawierający cztery wewnętrzne bloki o transmitancjach a, b, c, d .

W rozwiązaniach stosowanych w praktyce poszczególne bloki a, b, c, d przetwornika P ulegają znacznej redukcji – bowiem na ogół są to bloki o transmitancjach wyłącznie rzeczywistych (realizowane jako wzmacniacze lub konwertery prąd-napięcie), albo o transmitancjach wyłącznie urojonych (realizowane jako przesuwniki fazowe $\pi/2$) lub też o transmitancjach zerowych.

W równaniu przetwarzania (17) występują wszystkie składowe badanej immitancji \underline{X} . W celu wyznaczenia wybranej składowej – wystarczy zapewnić, aby odpowiednie współczynniki $p_1 \dots p_8$ występujące w równaniu (17) były równe zeru. Można to osiągnąć dobierając odpowiednie realizacje bloków a, b, c, d przetwornika P .

Z przedstawionego opisu wynika, że ogólny schemat strukturalny (rys. 5 i 6) oraz ogólne równanie przetwarzania (równ. 17) quasi-zrównoważonych układów do pomiaru składowych immitancji \underline{X} umożliwiają zaprojektowanie różnych rozwiązań układowych do pomiarów składowych impedancji lub admittancji.

4. Podsumowanie

Przedstawione w artykule układy quasi-zrównoważone są wyłącznie układami prądu przemiennego. Wszystkie opisane układy cechują się prostym i szybkim procesem pomiarowym (procesem quasi-równoważenia), wymagającym użycia tylko jednego elementu regulacyjnego. Oznacza to, że zbieżność omawianych układów jest stale maksymalna (w przeciwieństwie do układów zrównoważonych), co znacznie ułatwia automatyzację układów quasi-zrównoważonych.

Układy quasi-zrównoważone umożliwiają wprawdzie pomiar tylko jednej ze składowych badanej immitancji, jednak prosta zmiana konfiguracji układu umożliwia pomiar pozostałych składowych. W praktyce często wystarcza pomiar jednej składowej.

Aktywne układy quasi-zrównoważone stanowią nową i mało zbadaną klasę układów pomiarowych. Zaproponowany w p. 3 ogólny model matematyczny może być podstawą do dalszej analizy właściwości metrologicznych całej klasy układów quasi-zrównoważonych. Odpowiednie prace są kontynuowane w ramach badań własnych prowadzonych w Instytucie Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej Politechniki Śląskiej.

Literatura

- [1] Szadkowski B.: „Synteza metod pomiaru immitancji”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej „Elektryka”* z. 93, Gliwice 1984 r., rozprawa habilitacyjna, str. 78.
 [2] Szadkowski B.: „Pomiar składowych immitancji metodą detekcji stanu $Re w_1/w_2=0$ ”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria „Elektryka”* nr 108, Gliwice 1989.
 [3] Szadkowski B.: „Quasi – zrównoważone metody pomiaru impedancji”, *Rozprawy Elektrotechniczne, t. XXXI, z. 2, 1985 r.*, str. 291-303.
 [4] Cichy A.: „Quasi-zrównoważone układy do pomiaru składowych immitancji”. *Materiały XXX Międzyuczelnianej Konferencji Metrologów, Szczecin 1998.*

- [5] Cichy A., Szadkowski B.: „Typowe rozwiązania quasi-zrównoważonych układów do pomiaru składowych immitancji.”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej „Elektryka”*, z. 169, Gliwice 2000.
 [6] Cichy A.: „Matematyczny model układów quasi-zrównoważonych”. *Materiały XII Symposium: Modelowanie i Symulacja Systemów Pomiarowych MiSSP'02, Krynica 2002.*
 [7] Cichy A., Szadkowski B.: „Quasi-zrównoważony, aktywny układ do pomiaru współczynnika strat dielektrycznych.”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej „Elektryka”*, z. 184, Gliwice 2003.
 [8] Karandziejew K. B.: „Pomiary elektryczne metodami mostkowymi i kompensacyjnymi”. WNT, Warszawa 1969.
 [9] Atmanand M. A., Jagadeesh Kumar V., Vempati G. K. Murti: A Micro-controller Based „Quasi-Balanced Bridge for the Measurement of L, C and R”. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 45, no. 3, June 1996.*

Title: The active, quasi-balanced circuits for impedance components

Artykuł recenzowany

RECENZJE

Stanisław Waluś

OPTIMALIZACJA METROLOGICZNA POMIARU STRUMIENIA PŁYNU ZA POMOCĄ PRZEPLÝWOMIERZY PRÓBKUJĄCYCH

Wydawnictwo Politechniki Śląskiej
228 stron, 22 rysunki, 255 wzorów, 11 tablic

Książka jest pierwszą polską monografią poświęconą pomiarom strumienia płynu w przewodach zamkniętych i w kanałach otwartych przepływomierzami próbkującymi, to znaczy przepływomierzami, dla których strumień płynu jest obliczany na podstawie wyniku pomiaru prędkości miejscowej w przekroju przepływowym i modelu matematycznego urządzenia pierwotnego. Została wydana przez Wydawnictwo Politechniki Śląskiej jako Monografia nr 43. W książce tej przedstawiono podstawy teoretyczne odtwarzania wyniku pomiaru strumienia płynu na podstawie wyników pomiarów prędkości miejscowej, metodykę wyznaczania modelu matematycznego urządzenia pierwotnego przepływomierza próbkującego i możliwości optymalizacji metrologicznej pomiaru strumienia płynu przepływomierzem próbkującym.

Książka składa się z 8 rozdziałów (w tym Wprowadzenia i Podsumowania), Bibliografii, 6 załączników i streszczenia (w języku polskim i angielskim). Bibliografia liczy 505 pozycji, w tym 55 autorskich i 23 współautorskie.

W pierwszym rozdziale przedstawiono parametry charakteryzujące przepływomierze próbkujące oraz opisano błędy tych przepływomierzy dzieląc je na błędy związane z: obiektem pomiaru, konfiguracją urządzenia pierwotnego przepływomierza i czujnikiem.

W rozdziale drugim podano teoretyczne podstawy pośredniego pomiaru strumienia płynu metodą próbkującą zwracając uwagę na istotę modelowania matematycznego, łańcuch pomiarowy przepływomierza próbkującego oraz optymalizację metrologiczną pomiaru strumienia płynu.

Zagadnienia modelowania matematycznego obiektu pomiaru podano w rozdziale trzecim. Przedstawiono problematykę modelowania rozkładów prędkości w przewodach zamkniętych o przekroju kołowym dla warunków normalnych oraz dla przypadku zniekształconych rozkładów prędkości. Sformułowano warunki, jakim powinny odpowiadać modele matematyczne opisujące rozkład prędkości i podano kilka autorskich modeli. Dla modelowania matematycznego rozkładów prędkości w przewodach otwartych zdefiniowano warunki normalne i zaproponowano kilka modeli pionowego i poziomego profilu prędkości dla przewodu z prostokątną powierzchnią przepływową.

Rozdział czwarty poświęcono pomiarom strumienia objętości w przewodach zamkniętych na podstawie punktowego pomiaru prędkości miejscowej. Przeanalizowano pięć sposobów umiejscowienia czujnika: w osi przewodu zamkniętego, w położeniu przelotowym, w położeniu równopowierzchniowym, w położeniu rów-

nostrumieniowym i w położeniu optymalnym. Opisano odtwarzanie wartości wielkości mierzonej i problematykę związaną z optymalizacją metrologiczną.

Tematem rozdziału piątego jest pomiar strumienia płynu w przewodach zamkniętych na podstawie powierzchniowego pomiaru prędkości miejscowej. Przedstawiono schematy urządzeń pierwotnych przepływomierzy próbkujących z czujnikami powierzchniowymi.

Przedmiotem rozdziału szóstego jest pomiar strumienia płynu w przewodach zamkniętych na podstawie odcinkowego pomiaru prędkości miejscowej. Przedstawiono wzory matematyczne pozwalające na obliczenie współczynnika kształtu rozkładu prędkości dla kilku modeli matematycznych zniekształconych rozkładów prędkości. Podano wzory pozwalające na odtwarzanie wielkości mierzonej w przypadku przewodu zamkniętego o przekroju kołowym i ograniczonej powierzchni przepływowej (przez osady).

Rozdział siódmy poświęcono pomiarom strumienia płynu w przewodach otwartych, które charakteryzują się zmienną powierzchnią przepływową. Modelowanie matematyczne urządzenia pierwotnego przepływomierza zależy od konfiguracji urządzenia pierwotnego i dlatego przedstawiono podział urządzeń pierwotnych wyodrębniając kilkanaście przypadków obejmujących zarówno pomiar punktowy, jak i odcinkowy. Wyprowadzono modele matematyczne urządzenia pierwotnego dla poziomego i pionowego odcinka pomiarowego dla różnych modeli obiektu.

W załączniku 2 dokonano oryginalnego podziału metod pomiaru strumienia płynu wyróżniając wśród metod pośrednich przepływomierze całoprzewodowe i próbkujące. W załączniku 3 opisano metody pomiarowe stosowane w przepływomierzach próbkujących: spiętrzeniową, tachometryczną, termodynamometryczną, dynamometryczną, wirową, znacznikową, z unoszeniem strugi pomocniczej, ultradźwiękową, elektromagnetyczną i laserową. Zestawiono właściwości i możliwości zastosowania poszczególnych metod pomiarowych w przepływomierzach próbkujących. W załączniku 5 przedstawiono modelowanie w pomiarach zwracając uwagę na rodzaje modeli, a w załączniku 6 optymalizację metrologiczną, a w szczególności optymalizację w pomiarach parametrów charakteryzujących przepływ płynu.

Recenzentami wydawniczymi monografii są: **prof. Zdzisław Kabza z Politechniki Opolskiej** i **prof. Wojciech Tarnowski z Politechniki Koszalińskiej**.