

Spis treści

Wstęp	11
1. GENEZA TEMATYKI PRACY I ZALEŻNOŚCI PODSTAWOWE	17
1.1. Wprowadzenie	17
1.2. Rys historyczny mostków, geneza tematu i stan wiedzy o pomiarowych układach 4T	18
1.3. Zadania i istota pomiarów wieloparametrowych (nD)	23
1.4. Pomiary pośrednie dwu wielkości (2D) czujnikami rezystancyjnymi	27
1.5. Podstawowe równania układu 4T	31
1.6. Układy 4T pasywne odwracalne: czworobok zupełny, mostek 4R, gwiazda czteroramienna, czwórnik	38
1.7. Równania impedancyjne układu 4T pracującego jako czwórnik i jego macierz Z	43
1.8. Rodzaje impedancyjnych układów dwuwyjściowych	50
1.9. Przykłady oddziaływań dwu wielkości na elementy pasywnego układu 4T w postaci mostka czteroramiennego (4R)	53
1.10. Zarys podstawowych terminów i zależności mostków 4R o prądowym zasilaniu	55
2. REZYSTANCYJNY UKŁAD 4T JAKO CZWÓRNIK X o ZMIENNYCH PARAMETRACH	60
2.1. Schemat zastępczy i równania podstawowe rezystancyjnego układu 4T jako czwórnik	60
2.2. Parametry mostka rezystancyjnego 4R jako czwórnik typu X i ich związki	62
2.2.1. Elementy macierzy impedancyjnej Z_R jako funkcje rezystancji początkowych ramion mostka i ich przyrostów	62
2.2.2. Parametry zewnętrzne nieobciążonego jednoprądowego mostka 4R	71

2.2.3. Rozszerzony warunek równowagi i zależności pomiędzy parametrami zewnętrznymi mostka 4R	72
2.2.4. Linearyzacja zmian parametrów zewnętrznych mostka 4R	74
2.3. Parametry robocze mostka 4R jako czwórnika przy dowolnym zasilaniu i obciążeniu	78
2.3.1. Rodzaje opisów pracy mostka niezrównoważonego	78
2.3.2. Opis parametrów roboczych mostka 4R poprzez rezystancje jego ramion	79
2.3.3. Opis parametrów roboczych mostka poprzez elementy jego macierzy Z_R	84
2.4. Podstawowe szczególne postacie jednoźródłowego mostka 4R	88
2.4.1. Obciążony mostek 4R o idealnym prądowym zasilaniu	88
2.4.2. Mostek 4R zasilany napięciowo	92
2.4.3. Mostek nieobciążony przy zasilaniu ze źródła rzeczywistego ..	95
2.5. Uprozczone schematy zastępcze mostka 4R jako czwórnika	97
3. PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI REZYSTANCYJNYCH MOSTKÓW 4R PRZY DWUPRĄDOWYM ZASILANIU	102
3.1. Wyprowadzenie zasady działania	103
3.2. Napięcia wyjściowe dwuprądowych mostków rezystancyjnych w wartościach względnych rezystancji	107
3.3. Parametry dwuprądowych mostków rezystancyjnych w stanie równowagi	113
3.4. Optymalizacja napięciowych czułości początkowych mostków prądowych	116
3.4.1. Czułość T_0' układu a)	117
3.4.2. Czułość T_0'' układu b)	119
3.4.3. Czułość T_0''' układu c)	121
3.4.4. Zależności pomiędzy czułościami układów	123
3.5. Linearyzacja przebiegu napięć wyjściowych mostka dwuprądowego	125

3.6. Mostki dwuprądowe o różniących się źródłach zasilających $J_1 \neq J_3$	125
3.7. Mostki dwuprądowe o przełączanych źródłach	126
3.8. Podstawowe wzory mostków jedno- i dwuprądowego w wartościach względnych	130
3.9. Rezystancje wejściowe dwuprądowego antysymetrycznego mostka 4R	135
3.10. Układy dwunapięciowe dualne do mostków dwuprądowych 4R	136
3.11. Niektóre wnioski o mostkach dwuprądowych	139
4. POMIARY PARAMETRÓW SPRZĘŻONYCH W MOSTKU JEDNOPRĄDOWYM 4R	142
4.1. Układ kaskadowy do pomiarów dwuparametrowych (2D) w jednoprądowym mostku 4R	142
4.2. Pomiary przy dwóch ramionach zmiennych	143
4.3. Pomiary przy czterech ramionach zmiennych	146
5. ZASTOSOWANIE DWUPRĄDOWYCH MOSTKÓW REZYSTANCYJNYCH 4R W POMIARACH WIELOPARAMETROWYCH	154
5.1. Zasada pomiarów dwuparametrowych (2D) niezrównoważonym dwuprądowym mostkiem 4R o dwu wyjściach	154
5.2. Pomiary trzech rezystancji mostkiem 4R równoważonym dla obu rodzajów zasilania	161
5.3. Pomiary przyrostów trzech i czterech rezystancji w niezrównoważonym mostku 4R	162
5.4. Wnioski dotyczące pomiarów kilkuparametrowych w mostkach	167
6. SCHEMATY ZASTĘPCZE HALLOTRONU JAKO NIEODWRACALNEGO CZUJNIKA 4T	170
6.1. Składowe napięcia wyjściowego rzeczywistych hallotronów	171
6.2. Macierz admitancyjna i schematy zastępcze liniowego n-końcówkowego układu hallotronowego	177

6.3. Pełne schematy zastępcze hallotronów czterozaciskowych	180
6.4. Uprozczone schematy zastępcze hallotronów	188
6.4.1. Schematy zastępcze z pięcioma rezystorami	188
6.4.2. Schematy zastępcze w postaci czwórników i dwójników	191
6.4.3. Inne schematy zastępcze hallotronów	194
7. PRZYKŁADY INNYCH DWUPRĄDOWYCH UKŁADÓW 4T: aktywny mostek stałoprądowy i mostki przemiennoprądowe RC	195
7.1. Samorównoważący się aktywny mostek dwuprądowy 4R	195
7.2. Dwuprądowe pasywne układy 4T prądu przemiennego (AC)	197
7.2.1. Równania podstawowe dwuprądowego mostka prądu przemiennego	197
7.2.2. Porównanie klasycznych i dwuprądowych mostków o jednoelementowych gałęziach R i C	198
7.2.3. Mostki o gałęziach szeregowych RC i R	202
7.2.4. Pomiar trzech parametrów dwuprądowym mostkiem 2RC-2R dwukrotnie równoważonym	206
7.2.5. Dwuprądowy mostek niezrównoważony 2RC-2R	206
7.3. Podsumowanie rozdziału 7	207
8. MIARY DOKŁADNOŚCI REZYSTANCYJNYCH UKŁADÓW 4T W POMIARACH WIELOPARAMETROWYCH	209
8.1. Wprowadzenie	209
8.2. Opis niedokładności rezystancji zmiennych w szerokich granicach	211
8.3. Miary dokładności transmitancji rozwarciowej r_{21} mostka 4R jako czwórnika typu X	217
8.3.1. Błąd bieżący Δ_{21}	217
8.3.2. Graniczny błąd systematyczny $ \Delta_{21} _m$ transmitancji r_{21}	219

8.3.3. Losowe miary dokładności $\bar{\Delta}_{2I}$ transmitancji r_{21}	221
8.4. Miary dokładności rezystancji rozwarciowych mostka 4R	222
8.5. Miary dokładności r_{21} w przypadkach szczególnych mostka	225
8.5.1. Niedokładność mostka przy $r_{21}=0$	225
8.5.2. Jednakowe błędy względne δ_{R_i} rezystancji mostka	226
8.5.3. Jednakowe błędy względne δ_i	226
8.5.4. Pomijalne błędy przyrostów rezystancji $\Delta_{\varepsilon_i} \rightarrow 0$	226
8.5.5. Błąd graniczny $ \Delta_{2I} _m$ przy jednakowych błędach granicznych $ \delta_{R_i} $ ramion mostka	227
8.5.6. Błędy górnego krańca zakresu transmitancji r_{12}	229
8.5.7. Błędy transmitancji r_{21} przy przeciwnych przyrostach $\pm\varepsilon$ sąsiednich rezystancji	230
8.5.8. Jednakowe błędy graniczne i przeciwne przyrosty rezystancji $\varepsilon_i = \pm\varepsilon$ w ramionach sąsiednich	233
8.6. Niedokładność rozwarciowego napięcia wyjściowego U'_{DC} mostka 4R zasilanego prądem	238
8.7. Niedokładność transmitancji i rozwarciowego napięcia wyjściowego U'_{DC} mostka 4R zasilanego napięciem	239
8.8. Miary dokładności parametrów roboczych czwórnik o dowolnym zasilaniu i obciążeniu	242
8.9. Niedokładności czułości i napięć wyjściowych mostka dwuprądowego	244
8.10. Miary dokładności pomiarów 2D w mostku 4R.....	258
8.10.1. Dokładność pomiarów dwu przyrostów rezystancji sąsiednich ramion mostka	258
8.10.2. Dokładność pomiarów dwu skojarzonych par przyrostów rezystancji	260

8.11. Podsumowanie rozdziału 8	263
9. PODSUMOWANIE. KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ UKŁADÓW O DWUPRĄDOWYM ZASILANIU. GŁÓWNE WNIOSKI	264
9.1. Potencjalne obszary zastosowań mostków 4T i innych układów dwuprądowo zasilanych	266
9.2. Prace innych autorów w dziedzinie mostków dwuprądowych i pomiarów 2D z wykorzystaniem mostków	266
9.3. Ocena potencjalnych możliwości dwuprądowych układów 4T prądu przemiennego (AC)	268
9.4. Kilka ważniejszych wniosków i szczegółowych uwag końcowych	269
BIBLIOGRAFIA	273
B1. Literatura podstawowa	273
B2. Literatura uzupełniająca	277
B2.1. Wybrane, wcześniejsze pozycje o pomiarowych układach mostkowych	277
B2.2. Podstawowa literatura z teorii obwodów	278
Dodatek 1. WIADOMOŚCI UZUPEŁNIAJĄCE	279
D1.1. Zadania współczesnej techniki pomiarów impedancji	279
D1.2. Podstawowe rodzaje i właściwości układów kondycjonowania sygnałów	280
D1.3. Zarys wybranych wcześniejszych polskich prac w dziedzinie układów mostkowych i hallotronowych	284
D1.4. Kilka refleksji ogólnych	286
Titles of Chapters and Section	287
ABSTRACT	293