

KRZYSZTOF SUCHOCKI

# SENSORY I PRZETWORNIKI POMIAROWE

- PRZETWORNIKI INDUKCYJNE
- PRZETWORNIKI POJEMNOŚCIOWE

Gdańsk 2016

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO  
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ  
*Janusz T. Cieśliński*

RECENZENT  
*Grzegorz Lentka*

PROJEKT OKŁADKI  
*Katarzyna Olszonowicz*

Wydanie I – 2015

Wydano za zgodą  
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem  
<http://www.pg.edu.pl/wydawnictwo/katalog>  
zamówienia prosimy kierować na adres [wydaw@pg.gda.pl](mailto:wydaw@pg.gda.pl)

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiegokolwiek formie  
i w jakikolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 20156

**ISBN 978-83-7348-677-5**

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Wydanie II. Ark. wyd. 7,7, ark. druku 9,0, 1138/946

Druk i oprawa: Totem.com.pl, sp. z o.o., sp. k.  
ul. Jacewska 89, 88-100 Inowrocław, tel. 52 354 00 40

---

# Spis treści

<b>Przedmowa</b> .....	5
<b>1. Przetworniki indukcyjne</b> .....	7
1.1. Wiadomości wstępne dotyczące pola magnetycznego .....	10
1.2. Przetworniki indukcyjne dławikowe .....	11
1.3. Czujnik indukcyjny dławikowy różnicowy .....	17
1.4. Przetworniki indukcyjne solenoidalne .....	20
1.5. Przetwornik indukcyjny toroidalny .....	23
1.6. Przetwornik indukcyjny toroidalny różnicowy .....	25
1.7. Przetwornik indukcyjny transformatorowy .....	28
1.8. Metody pomiaru sygnału wyjściowego przetworników indukcyjnych .....	33
1.8.1. Pomiar indukcyjności za pomocą pomiaru impedancji .....	33
1.8.1.1. Pomiar indukcyjności za pomocą pomiaru prądu .....	33
1.8.1.2. Pomiar indukcyjności z wykorzystaniem dwóch woltomierzy .....	36
1.8.1.3. Pomiar indukcyjności w układach ze wzmacniaczami operacyjnymi .....	37
1.8.2. Pomiar indukcyjności za pomocą oscyloskopu .....	44
1.8.3. Pomiar indukcyjności na podstawie analizy stanu nieustalonego .....	46
1.8.4. Pomiar indukcyjności w układach rezonansowych .....	47
1.8.4.1. Pomiar indukcyjności w szeregowym układzie rezonansowym .....	47
1.8.4.2. Pomiar indukcyjności w równoległym układzie rezonansowym .....	51
1.8.5. Pomiar indukcyjności na podstawie mostków zmiennoprądowych .....	55
1.8.5.1. Pomiar indukcyjności z wykorzystaniem mostka zmiennoprądowego Maxwella .....	55
1.8.5.2. Pomiar indukcyjności z wykorzystaniem mostka zmiennoprądowego Maxwella-Wiena .....	59
1.8.5.3. Pomiar indukcyjności z wykorzystaniem mostka zmiennoprądowego Haya .....	61
1.8.5.4. Pomiar indukcyjności z wykorzystaniem układów rezonansowych w mostku zmiennoprądowym .....	64
1.8.6. Pomiar indukcyjności na podstawie pomiaru czasu .....	76
1.9. Przykładowe konstrukcje czujników indukcyjnych .....	77
<b>2. Przetworniki pojemnościowe</b> .....	79
2.1. Czujniki pojemnościowe – właściwości elektryczne, schematy zastępcze .....	79
2.2. Czujniki pojemnościowe o zmiennej odległości między elektrodami .....	82
2.3. Czujniki pojemnościowe o zmiennej powierzchni elektrod .....	85
2.4. Czujniki pojemnościowe o zmiennych dielektrykach .....	86
2.5. Metody pomiaru sygnału wyjściowego przetworników pojemnościowych .....	89
2.5.1. Pomiar pojemności w oparciu o pomiar impedancji .....	89
2.5.1.1. Pomiar pojemności za pomocą pomiaru prądu .....	89
2.5.1.2. Pomiar pojemności z wykorzystaniem dwóch woltomierzy .....	92

---

2.5.1.3. Pomiar pojemności w układach ze wzmacniaczami operacyjnymi .....	93
2.5.2. Pomiar pojemności za pomocą oscyloskopu .....	96
2.5.3. Pomiar pojemności na podstawie analizy stanu nieustalonego .....	99
2.5.4. Pomiar pojemności w układach rezonansowych .....	104
2.5.4.1. Pomiar pojemności w szeregowym układzie rezonansowym .....	104
2.5.4.2. Pomiar pojemności w równoległym układzie rezonansowym .....	105
2.5.5. Pomiar pojemności w oparciu o mostki zmiennoprądowe .....	106
2.5.5.1. Pomiar pojemności z wykorzystaniem mostka zmiennoprądowego .....	107
2.5.5.2. Pomiar pojemności z wykorzystaniem zmodyfikowanego mostka zmiennoprądowego .....	110
2.5.5.3. Pomiar pojemności z wykorzystaniem mostka de Sauty'ego .....	112
2.5.5.4. Pomiar pojemności z wykorzystaniem mostka de Sauty-Wiena .....	114
2.5.5.5. Pomiar pojemności z wykorzystaniem mostka Nersta .....	116
2.5.5.6. Pomiar pojemności z wykorzystaniem mostka Scheringa .....	118
2.5.5.7. Pomiar pojemności z wykorzystaniem mostka transformatorowego .....	121
2.5.6. Pomiar pojemności z wykorzystaniem przesuwника fazy .....	124
2.5.7. Pomiar pojemności z wykorzystaniem integratora .....	127
2.5.8. Pomiar pojemności w układach generatorów .....	129
2.5.8.1. Pomiar pojemności w układzie generatora z mostkiem Wiena .....	131
2.5.8.2. Pomiar pojemności w układzie generatora z przesuwnikiem podwójnej $T$ .....	133
2.5.8.3. Pomiar pojemności w układzie generatora z przesuwnikiem $RC$ .....	135
2.5.8.4. Pomiar pojemności z wykorzystaniem scalonego układu generatora NE 555 .....	137
2.6. Przykładowe konstrukcje czujników pojemnościowych .....	140
<b>Literatura</b> .....	141