

Piotr Kowalczyk, Rafał Lech, Włodzimierz Zieniutycz

Pola i fale

ELEKTRO

MAGNETYCZNE

w zadaniach

Gdańsk 2017

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Janusz T. Cieśliński

RECENZENT

Andrzej Kucharski

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.edu.pl

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

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2017

ISBN 978-83-7348-626-3

Spis treści

Wstęp	7
Wykaz ważniejszych oznaczeń	9
1 Fala płaska w ośrodku bezstratnym	11
1.1 Podstawowe pojęcia i parametry	11
1.2 Rzeczywiste źródła fal elektromagnetycznych	17
2 Równania Maxwella dla amplitud zespolonych	21
2.1 Amplitudy zespolone	21
2.2 Równania Maxwella w postaci zespolonej	23
2.3 Impedancja falowa	25
3 Polaryzacja fali płaskiej	29
3.1 Polaryzacja liniowa	31
3.2 Polaryzacja kołowa	32
3.3 Polaryzacja eliptyczna	33
4 Uogólniony opis fali płaskiej	38
5 Ośrodki rzeczywiste	46
5.1 Dyspersja i prędkość grupowa	46
5.2 Fala płaska w ośrodku stratnym	50
5.3 Materiały mało lub silnie stratne	55
5.3.1 Ośrodki silnie stratne	56
5.3.2 Ośrodki mało stratne	57
5.3.3 Częstotliwość a właściwości ośrodka	58
6 Wektor Poyntinga. Zasada zachowania energii	62
6.1 Zależności energetyczne dla fali płaskiej	62
6.2 Twierdzenie Poyntinga dla amplitud zespolonych	66
7 Pola na granicy ośrodków	75
7.1 Warunki brzegowe	75
7.2 Pola przy powierzchni idealnego przewodnika	84
8 Padanie prostopadłe fali płaskiej na granicę ośrodków	88
8.1 Współczynnik odbicia	88
8.2 Współczynnik fali stojącej	90
8.3 Zmienność parametrów opisujących zjawisko odbicia względem przekroju obserwacji	95

8.3.1	Współczynnik odbicia w przekroju obserwacji	95
8.3.2	Impedancja falowa w przekroju obserwacji	98
8.3.3	Współczynnik fali stojącej w przekroju obserwacji	99
9	Padanie prostopadłe fali płaskiej na ośrodki wielowarstwowe	103
9.1	Padanie fali płaskiej na ośrodek dwuwarstwowy	103
9.2	Padanie fali płaskiej na ośrodek wielowarstwowy	110
10	Padanie ukośne fali płaskiej na granice ośrodków	114
10.1	Współczynnik odbicia	114
10.2	Kąt Brewstera	119
10.3	Kąt całkowitego wewnętrznego odbicia	121
10.4	Kąt załamania a kierunek rozchodzenia się fali w ośrodku stratnym . .	124
10.5	Rozszczepienie wiązki w ośrodku dyspersyjnym	126
10.6	Prowadzenie fal elektromagnetycznych	127
11	Prowadnice falowe	132
11.1	Prowadnice z falą typu TEM ($E_z = H_z = 0$)	133
11.1.1	Linia współosiowa	136
11.1.2	Linia płasko-równoległa	139
11.1.3	Inne przykłady prowadnic TEM	140
11.2	Prowadnice z falą typu TE i TM	142
11.2.1	Falowód prostokątny	148
11.2.2	Falowód kołowy	156
11.2.3	Inne przykłady prowadnic TE/TM	161
	Literatura	165