

SPIS TREŚCI

Wykaz najważniejszych oznaczeń i symboli	11
Zestawienie najważniejszych jednostek	13
1. Równania pola elektromagnetycznego	15
1.1. Wielkości wektorowe	15
1.1.1. Pojęcia podstawowe	15
1.1.2. Funkcja wektorowa. Pole wektorowe	16
1.1.3. Iloczyn skalarny i iloczyn wektorowy	16
1.1.4. Pochodna i całka wektora	18
1.2. Podstawowe wzory i twierdzenia analizy wektorowej	19
1.2.1. Gradient skłara	19
1.2.2. Strumień wektora. Dywergencja wektora	21
1.2.3. Całka liniowa. Rotacja wektora	23
1.2.4. Operator nabra	26
1.2.5. Twierdzenie Gaussa-Ostrogradskiego. Twierdzenie Stokesa	27
* 1.3. Wielkości charakteryzujące pole elektromagnetyczne	28
1.3.1. Określenia i zależności podstawowe	28
1.3.2. Pole elektryczne w dielektryku	29
1.3.3. Pole przepływowo	32
1.3.4. Pole magnetyczne	34
-1.4. Równania Maxwella	35
1.5. Prawo Gaussa. Beźródłowość pola magnetycznego	37
1.6. Prąd przesunięcia	38
1.7. Prawo zachowania ładunku. Czas relaksacji	39
1.7.1. Prawo zachowania ładunku	39
1.7.2. Czas relaksacji	40
2. Pole elektrostatyczne	42
2.1. Równania pola elektrostatycznego	42
-2.2. Potencjał i napięcie	44
2.2.1. Potencjał pola elektrostatycznego	44

2.2.2. Napięcie w polu elektrostatycznym	45
2.2.3. Potencjał ładunku przestrzennego i powierzchniowego	46
2.3. Warunki brzegowe. Prawo załamania	47
2.4. Równanie Poissona i równanie Laplace'a	50
2.4.1. Pole trójwymiarowe	50
2.4.2. Pole dwuwymiarowe	51
2.5. Przykłady pól elektrostatycznych	52
2.5.1. Pole równomierne	52
2.5.2. Pole naładowanej kuli metalowej	52
2.5.3. Pole dipola elektrycznego	53
2.5.4. Pole ładunku liniowego	54
2.5.5. Pole naładowanego walca metalowego	55
2.5.6. Kula metalowa w polu równomiernym	55
2.5.7. Kula z dielektryka w polu równomiernym	57
2.6. Pojemność elektryczna. Kondensatory	58
2.6.1. Określenie pojemności	58
2.6.2. Kondensator płaski	59
2.6.3. Uwarstwiony kondensator płaski	60
2.6.4. Kondensator walcowy	62
2.6.5. Uwarstwiony kondensator walcowy	63
2.7. Pojemność linii elektrycznych	65
2.7.1. Pojemność pojedynczego przewodu nad powierzchnią ziemi	65
2.7.2. Pojemność linii dwuprzewodowej	67
2.8. Energia pola elektrycznego	69
3. Statyczne pole przepływowe	71
3.1. Podstawowe równania i prawa	71
3.1.1. Równania statycznego pola przepływowego	71
3.1.2. Potencjał statycznego pola przepływowego	72
3.1.3. Prawo Ohma w postaci wektorowej	72
3.1.4. Prawo Joule'a w postaci różniczkowej	73
3.2. Warunki brzegowe. Prawo załamania	74
3.3. Rezystancja przejścia	74
3.4. Uziomy	76
4. Pole magnetostatyczne	79
4.1. Równania pola magnetostatycznego. Prawo przepływu	79
4.2. Przykłady zastosowania prawa przepływu	80
4.2.1. Natężenie pola magnetycznego na zewnątrz przewodu	80
4.2.2. Natężenie pola magnetycznego we wnętrzu przewodu	81
4.2.3. Natężenie pola magnetycznego we wnętrzu cewki toroidalnej	82
4.2.4. Natężenia pola magnetycznego we wnętrzu cewki solenoidalnej	83
4.3. Potencjały pola magnetycznego	84
4.3.1. Potencjał skalarny	84
4.3.2. Potencjał wektorowy	85
4.3.3. Potencjał wektorowy pierścienia kołowego	88
4.4. Obliczanie pola magnetycznego	89
4.4.1. Zależności podstawowe	89
4.4.2. Prawo Biota-Savarta	90

4.4.3. Natężenie pola magnetycznego na osi pierścienia	92
4.4.4. Natężenie pola magnetycznego wewnątrz cewki solenoidalnej	93
4.5. Siły w polu magnetycznym	94
4.5.1. Zależności podstawowe	94
4.5.2. Siły elektrodynamiczne	96
4.6. Własności magnetyczne ciał	97
4.6.1. Ciała diamagnetyczne i paramagnetyczne	97
4.6.2. Ciała ferromagnetyczne	97
4.6.3. Przenikalność magnetyczna statyczna i dynamiczna	99
4.7. Warunki brzegowe. Prawo załamania	101
4.8. Metoda odbić zwierciadlanych	102
4.9. Ekrany magnetyczne	104
5. Obwody magnetyczne	107
5.1. Uwagi ogólne.	107
5.2. Prawo Ohma dla obwodów magnetycznych	109
5.2.1. Prawo Ohma	109
5.2.2. Połączenie szeregowe i połączenie równoległe oporów magnetycznych	111
5.3. Prawa Kirchhoffa dla obwodów magnetycznych	112
5.3.1. I prawo Kirchhoffa	112
5.3.2. II prawo Kirchhoffa	113
5.4. Nierozgałęzione obwody magnetyczne	114
5.4.1. Obliczanie I_z przy znanym strumieniu magnetycznym	114
5.4.2. Obliczanie strumienia magnetycznego przy znanym I_z	116
5.5. Rozgałęzione obwody magnetyczne	118
5.6. Magnes trwały ze szczeliny	119
6. Indukcja elektromagnetyczna	122
6.1. Zjawisko indukcji elektromagnetycznej	122
6.1.1. Siła elektromotoryczna indukowana w poruszającym się przewodzie	122
6.1.2. Siła elektromotoryczna indukowana w obwodzie zamkniętym	124
6.1.3. Siła elektromotoryczna indukowana w cewce	125
6.1.4. Zasada Lenza	127
6.2. Indukcja własna	128
6.3. Indukcja wzajemna	130
6.4. Energia pola magnetycznego	133
6.5. Obliczanie indukcyjności własnej i wzajemnej	135
6.5.1. Wzór ogólny dla indukcyjności wzajemnej	135
6.5.2. Indukcyjność wewnętrzna przewodu	137
6.5.3. Indukcyjność zewnętrzna przewodu	138
6.5.4. Indukcyjność linii dwuprzewodowej	140
6.5.5. Indukcyjność własna i wzajemna pierścieni kołowych	140
6.6. Siła udźwigu elektromagnesu	142
7. Fale elektromagnetyczne	145
7.1. Potencjały elektrodynamiczne	145
7.1.1. Zależności podstawowe	145
7.1.2. Równania różniczkowe dla potencjałów elektrodynamicznych	147

7.2. Falowy charakter pola elektromagnetycznego	148
7.3. Fala płaska	150
7.4. Twierdzenie Poyntinga	152
8. Harmoniczne pole elektromagnetyczne	155
8.1. Wektory zespolone	155
8.1.1. Określenie wektora zespolonego	155
8.1.2. Norma wektora zespolonego	156
8.2. Równania pola elektromagnetycznego w postaci zespolonej	157
8.3. Twierdzenie Poyntinga w postaci zespolonej	159
8.4. Potencjał wektorowy i potencjał skalarny	161
8.4.1. Potencjał wektorowy magnetyczny i potencjał skalarny elektryczny	161
8.4.2. Potencjał wektorowy elektryczny i potencjał skalarny magnetyczny	163
8.5. Impedancje liniowych obwodów elektrycznych	165
8.5.1. Uwagi ogólne	165
8.5.2. Impedancja wewnętrzna przewodu	165
8.5.3. Impedancja zewnętrzna przewodu	168
8.5.4. Impedancja przewodu	169
8.5.5. Impedancja wzajemna	170
9. Harmoniczne pole elektromagnetyczne w środowisku przewodzącym	172
9.1. Równania pola elektromagnetycznego w środowisku przewodzącym	172
9.2. Zjawisko nasłórkowości w przewodzie walcowym	173
9.2.1. Uwagi ogólne	173
9.2.2. Pole elektromagnetyczne we wnętrzu przewodu walcowego	173
9.2.3. Rezystancja i indukcyjność wewnętrzna	176
9.3. Walec metalowy w poprzecznym polu magnetycznym	178
9.4. Zjawisko zbliżenia	182
9.5. Przewody w żłobku maszyny elektrycznej	185
9.6. Cienka płytka w poprzecznym polu magnetycznym	189
9.7. Straty wiropądowe	190
9.7.1. Uwagi ogólne	190
9.7.2. Cienka płytka kołowa w poprzecznym polu magnetycznym równomiernym	191
9.7.3. Cienka płyta prostokątna w podłużnym polu magnetycznym	192
9.7.4. Walec metalowy w podłużnym polu magnetycznym	198
9.8. Straty wiropądowe wywołane przez prądy w przewodach	200
9.8.1. Zależności podstawowe	200
9.8.2. Ogólny wzór dla strat wiropądowych	203
9.9. Obwód ziemnopowrotny	205
9.9.1. Określenie obwodu ziemnopowrotnego	205
9.9.2. Zależności podstawowe	206
9.9.3. Impedancja zewnętrzna przewodu	208
9.9.4. Impedancja pętli ziemnopowrotnej	209
9.9.5. Impedancja wzajemna pętli	209
9.10. Równanie całkowite dla gęstości prądu w przewodzie	210
10. Promieniowanie i propagacja fal elektromagnetycznych	213
10.1. Wstęp	213
10.2. Wibrator elementarny	213

10.2.1. Równania podstawowe	213
10.2.2. Pole elektromagnetyczne w obszarze bliskim	215
10.2.3. Pole elektromagnetyczne w obszarze dalekim (strefa falowa)	216
10.2.4. Moc i rezystancja promieniowania	219
10.3. Harmoniczna fala płaska	221
10.3.1. Równania fali płaskiej w postaci zespolonej	221
10.3.2. Fala płaska w idealnym dielektryku	223
10.3.3. Fala płaska w środowisku dobrze przewodzącym	225
10.4. Fala płaska w środowisku dwuwarstwowym	226
10.4.1. Fala płaska padająca na granicę dwóch środowisk	226
10.4.2. Głębokość wnikania fali elektromagnetycznej	228
10.5. Falowody	229
10.5.1. Uwagi ogólne	229
10.5.2. Pole typu elektrycznego	229
10.5.3. Pole typu magnetycznego	232
10.5.4. Częstotliwość graniczna	233
10.6. Rezonatory wnękowe	235
10.6.1. Uwagi ogólne	235
10.6.2. Pole typu elektrycznego w rezonatorze	235
10.6.3. Pole typu magnetycznego w rezonatorze	236
11. Zarys metod rozwiązywania zagadnień brzegowych	238
11.1. Wstęp	238
11.2. Metoda rozdzielenia zmiennych	239
11.2.1. Określenia i zależności podstawowe	239
11.2.2. Równanie Laplace'a	242
11.2.3. Równanie Poissona	248
11.3. Metoda przekształceń całkowych	250
11.3.1. Uwagi ogólne	250
11.3.2. Pole ładunku punktowego umieszczonego we wnętrzu rury metalowej	251
11.3.3. Potencjał wektorowy dwóch przewodów równoległych	254
11.3.4. Potencjał wektorowy przewodu równoległego do ściany przewodzącej	257
11.4. Metody wariacyjne	260
11.4.1. Uwagi ogólne	260
11.4.2. Określenia i zależności podstawowe	261
11.4.3. Metoda Ritza	263
11.4.4. Metoda Kantorowicza	267
11.5. Metoda różnic skończonych	270
11.6. Metoda elementów skończonych	272
11.6.1. Uwagi ogólne	272
11.6.2. Aproksymacja funkcji	273
11.6.3. Minimalizacja funkcjonatu	275
11.7. Metoda równań całkowych	279
11.7.1. Uwagi ogólne	279
11.7.2. Metoda kollokacji	280
11.7.3. Metoda Galerkina	285
12. Dodatek	287
12.1. Podstawowe wzory algebry i analizy wektorowej	287
12.2. Funkcje hiperboliczne	289

12.3. Funkcje Bessela	289
12.4. Tabela niektórych całek stosowanych w podręczniku	291

Literatura

293

Skorowidz

295