

SPIS TREŚCI

Wstęp	7
1. POLE ELEKTRYCZNE	9
1.1. Ładunki elektryczne	9
1.2. Prawo Coulomba	12
1.3. Wielkości opisujące pole elektryczne	13
1.3.1. Wektor natężenia pola elektrycznego	13
1.3.2. Potencjał i napięcie elektryczne	14
1.3.3. Potencjał i natężenie pola elektrycznego w osi naładowanego przewodu o kształcie łuku	22
1.3.4. Potencjał i natężenie pola elektrycznego w osi naładowanej tarczy	24
1.4. Indukcja elektryczna, prawo Gaussa	25
1.4.1. Pole elektryczne w otoczeniu naładowanego, prostoliniowego przewodu ...	28
1.4.2. Pole elektryczne w otoczeniu naładowanej płyty	31
1.5. Linie pola, powierzchnie ekwipotencjalne	32
1.6. Gradient potencjału, dywergencja i rotacja wektorów pola	35
1.7. Równania Laplace'a i Poissona	39
2. DIELEKTRYKI W STAŁYM POLU ELEKTRYCZNYM	42
2.1. Dielektryki idealne i rzeczywiste	42
2.2. Polaryzacja dielektryków, wektor polaryzacji	44
2.3. Pole elektryczne na granicy dielektryków	49
2.3.1. Pole elektryczne w dielektrykach otaczających płytę	53
2.3.2. Pole ładunku punktowego w środowisku uwarstwionym	54
2.3.3. Kula dielektryczna w równomiernym polu elektrycznym	56
3. ŚRODOWISKA PRZEWODZĄCE W STAŁYM LUB WOLNOZMIENNYM POLU ELEKTRYCZNYM	61
3.1. Przewodniki, półprzewodniki i przewodzące dielektryki	61
3.2. Wektor gęstości prądu przewodzenia i przesunięcia	63
3.3. Pole wektora gęstości prądu na granicy przewodników	67
3.3.1. Pole wektora gęstości prądu na granicy przewodzących dielektryków ...	69
3.4. Elektryzacja środowisk przewodzących	72
3.4.1. Pole elektryczne naładowanego, jednorodnego przewodnika	72
3.4.2. Przemieszczanie się ładunków w równomiernie naładowanej płycie ...	76
3.4.3. Elektryzacja środowisk uwarstwionych, ładowanie przez naelektryzowanie i podział	78
3.4.4. Elektryzacja przewodzącej płyty w polu elektrycznym sinusoidalnie zmien- nym w funkcji czasu	86
3.5. Ekrany elektryczne	90
3.5.1. Ekran cylindryczny w równomiernym polu elektrycznym	91
3.5.2. Ekran kulisty w równomiernym polu elektrycznym	93
3.6. Pole elektryczne w otoczeniu naładowanych, przewodzących ostrzy	95
3.7. Mechanizmy ładowania obiektów przewodzących	99
3.7.1. Ładowanie przez kontakt z naładowaną elektrodą	100
3.7.2. Ładowanie w strefie ujemnego ulotu	101

4. WŁAŚCIWOŚCI ENERGETYCZNE POLA ELEKTRYCZNEGO, KONDENSATORY I OBWODY ELEKTRYCZNE	105
4.1. Energia pola elektrycznego	105
4.1.1. Energia wzajemnego oddziaływania ładunków elektrycznych	105
4.1.2. Energia pola elektrycznego	107
4.1.3. Gęstość mocy	108
4.2. Siły mechaniczne w polu elektrycznym	109
4.2.1. Naprężenia powierzchniowe	111
4.2.2. Gęstość objętościowa sił mechanicznych	115
4.3. Kondensatory, pojemność elektryczna kondensatorów	118
4.3.1. Pojemność kondensatora płaskiego jedno- i wielowarstwowego	119
4.3.2. Kondensator płaski z dielektrykiem rzeczywistym	125
4.3.3. Pojemności kondensatorów cylindrycznego i kulistego	128
4.3.4. Pojemność linii dwuprzewodowej	133
4.4. Ładowanie i rozładowanie kondensatora	134
4.5. Naprężenia mechaniczne na granicy przewodnika i dielektryka	138
4.5.1. Naprężenia mechaniczne w kondensatorze	140
4.6. Obwód elektryczny, prawa Kirchhoffa	143
4.6.1. Dołączenie przewodów linii do źródła energii elektrycznej	145
4.6.2. Dołączenie odbiornika energii elektrycznej, powstanie obwodu elektrycznego	147
4.6.3. Moc i energia obwodu elektrycznego	151
5. POLE MAGNETYCZNE STAŁE W FUNKCJI CZASU	153
5.1. Doświadczenia Ampera, prawo Biotta-Savarta, indukcja magnetyczna	153
5.2. Wielkości opisujące pole magnetyczne, równania różniczkowe pola	157
5.2.1. Natężenie pola magnetycznego, prawo przepływu, równanie Maxwella	158
5.2.2. Magnetyzacja, wektor magnetyzacji	160
5.2.3. Strumień magnetyczny	162
5.2.4. Potencjał skalarny i wektorowy pola magnetycznego, równania różniczkowe cząstkowe drugiego rzędu	163
5.3. Pole magnetyczne na granicy nieciągłości materiałowej	168
5.4. Indukcyjność własna i wzajemna	171
5.4.1. Indukcyjność własna obwodu elektrycznego	171
5.4.2. Indukcyjność wzajemna	172
5.5. Pole magnetyczne w otoczeniu przewodów z prądem	172
5.5.1. Pole magnetyczne wewnątrz i na zewnątrz odosobnionego, prostoliniowego przewodu	173
5.5.2. Pole magnetyczne w otoczeniu linii dwuprzewodowej	177
5.5.3. Indukcyjność własna linii dwuprzewodowej	179
5.5.4. Pole magnetyczne kabla koncentrycznego	180
5.5.5. Pole magnetyczne w otoczeniu przewodu o skończonej długości	182
5.5.6. Pole magnetyczne na osi zwoju kołowego i solenoidu	183
5.5.7. Indukcyjność własna solenoidu	186
5.5.8. Pole magnetyczne cewki toroidalnej	187
5.5.9. Indukcyjność własna i wzajemna cewek nawiniętych na rdzeniu toroidalnym	188
5.6. Obliczanie pola magnetycznego w środowisku uwarstwionym	189
5.6.1. Przewód prostoliniowy w środowisku uwarstwionym podłużnie	190
5.6.2. Przewód prostoliniowy w środowisku uwarstwionym poprzecznie	191

6. FERROMAGNETYKI W POLU MAGNETYCZNYM	193
6.1. Właściwości magnetyczne środowisk materialnych	193
6.2. Właściwości ferromagnetyków, krzywa magnesowania, pętla histerezy	195
6.2.1. Przenikalność magnetyczna ferromagnetyków	198
6.2.2. Materiały magnetyczne miękkie i twarde	200
6.2.3. Rozmagnesowanie (demagnetyzacja) magnesów	202
6.3. Opis pola magnetycznego namagnesowanych ferromagnetyków	205
6.3.1. Potencjał skalarny w opisie pola w ferromagnetyku	206
6.3.2. Namagnesowanie kuli ferromagnetycznej	209
6.3.3. Namagnesowanie rdzenia toroidalnego	211
6.3.4. Potencjał wektorowy w opisie pola w magnesie stałym	213
6.3.5. Pole magnetyczne w otoczeniu magnesu prętowego	214
6.4. Magnetowody, modelowanie obwodowe magnetowodów	217
6.4.1. Obwody magnetyczne i ich elementy	217
6.4.2. Obliczanie obwodów magnetycznych z magnesami trwałymi	223
6.5. Ekrany magnetyczne	225
7. ENERGIA I SIŁY MECHANICZNE W POLU MAGNETYCZNYM	229
7.1. Gęstość energii pola magnetycznego	229
7.1.1. Energia pola magnetycznego skumulowana w przestrzeni modelowanej elementem o indukcyjności L	230
7.2. Siły mechaniczne w stałym polu magnetycznym	232
7.2.1. Oddziaływanie zewnętrznego pola magnetycznego na diamagnetyk	232
7.2.2. Oddziaływanie zewnętrznego pola magnetycznego na paramagnetyk	235
7.2.3. Siły rozwarstwiające magnetyki	238
7.2.4. Siły mechaniczne pomiędzy przewodami linii przesyłowej	239
7.2.5. Siły mechaniczne między przewodami, w których płynie prąd sinusoidalny	241
8. ZJAWISKO INDUKCJI ELEKTROMAGNETYCZNEJ, POLE ELEKTROMAGNETYCZNE	244
8.1. Zjawisko indukcji elektromagnetycznej	244
8.1.1. Siła elektromotoryczna transformacji i rotacji	248
8.1.2. Prądy wirowe	253
8.2. Równania różniczkowe pola elektromagnetycznego, równania Maxwella	255
8.2.1. Pierwsze równanie Maxwella	255
8.2.2. Zjawisko indukcji magnetoelektrycznej	256
8.2.3. Równania różniczkowe pola elektromagnetycznego – przypadek ogólny	259
8.3. Równania Maxwella dla pól harmoniczných	261
8.3.1. Wpływ częstotliwości na klasyfikację środowisk	262
8.3.2. Wpływ dyspersji częstotliwościowej na klasyfikację środowisk	265
8.4. Równania różniczkowe cząstkowe drugiego rzędu	267
8.4.1. Równania falowe z tłumieniem i bez tłumienia	267
8.4.2. Równanie przewodnictwa	270
8.4.3. Równanie przewodnictwa w środowisku z wymuszonym przepływem prądu	270
8.4.4. Równanie Helmholtza	271
8.5. Przemiany energetyczne w polu elektromagnetycznym	272
8.5.1. Strumień mocy – wektor Poyntinga	272
8.5.2. Rola przewodów i dielektryka w procesie przesyłu energii elektrycznej	274
8.5.3. Wektor Poyntinga w polach harmoniczných	278
8.6. Siły mechaniczne w polu elektromagnetycznym	279

9. POLE HARMONICZNE W PRZEWODNIKACH I DIELEKTRYKACH	281
9.1. Rozprzestrzenianie się pola, fale elektromagnetyczne	281
9.2. Harmoniczna fala płaska	285
9.2.1. Harmoniczna fala płaska w dielektryku	289
9.2.2. Harmoniczna fala płaska w przewodniku	291
9.3. Zjawisko naskórkowości elektrycznej, równoważna głębokość wnikania	292
9.3.1. Zjawisko naskórkowości w odosobnionym przewodzie taśmowym	295
9.4. Przenikanie fali płaskiej przez granicę nieciągłości materiałowej	298
9.4.1. Odbicie od idealnego przewodnika fali płaskiej padającej pod kątem prostym	301
9.5. Poprzeczne fale elektromagnetyczne	303
9.6. Propagacja fal elektromagnetycznych	304
9.6.1. Potencjały uogólnione, równania d'Alemberta	305
9.6.2. Elektrodynamiczne potencjały opóźnione	308
9.7. Dipol elektryczny i magnetyczny jako źródło promieniowania fal elektromagne- tycznych	312
9.7.1. Dipol elektryczny jako źródło promieniowania fali elektromagnetycznej ...	312
9.7.2. Pole elektromagnetyczne w bezpośrednim otoczeniu dipola, w tzw. strefie bliskiej	316
9.7.3. Pole elektromagnetyczne w strefie dalekiej	318
9.8. Promieniowanie dipola magnetycznego	319
9.9. Podstawowe parametry emisyjne anten dipolowych	323
Dodatek	325
1. Układ współrzędnych prostokątnych	325
2. Układ współrzędnych cylindrycznych (walcowych)	325
3. Układ współrzędnych kulistych (sferycznych)	326
4. Podstawowe wzory analizy wektorowej	327
Literatura	329