

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Список основных обозначений величин, использованных в книге	4
Глава 1. Интегральные уравнения электродинамики	8
§ 1.1. Место электродинамики среди технических дисциплин. Назначение электродинамики и основные этапы ее развития	8
§ 1.2. Система единиц. Закон Кулона. Вектор напряженности электрического поля \mathbf{E} . Разность потенциалов U . Теорема Гаусса для вакуума	10
§ 1.3. Теорема Гаусса для вещества. Вектор электрического смещения \mathbf{D} . Первое материальное уравнение среды. Первое уравнение непрерывности	12
§ 1.4. Вектор магнитной индукции \mathbf{B} . Связь вектора \mathbf{B} с током	19
§ 1.5. Воздействие внешнего магнитного поля на вещество. Вектор напряженности магнитного поля \mathbf{H} . Закон полного тока. Второе материальное уравнение среды. Второе уравнение непрерывности	23
§ 1.6. Электрическая проводимость среды. Закон Ома в дифференциальной и интегральной формах. Сторонний электрический ток. Ток смещения. Обобщенный закон полного тока	30
§ 1.7. Теорема Гаусса для вещества в случае проводящей среды	34
§ 1.8. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Сторонний магнитный ток. Магнитная проводимость среды. Закон электромагнитной индукции в расширенной форме. Перестановочная двойственность интегральных уравнений электродинамики	35
§ 1.9. Вид интегрального соотношения $\oint_{S_i} \mathbf{B} d\mathbf{S} = Q_m$ в случае среды, обладающей магнитной проводимостью	39
§ 1.10. Комплексные амплитуды векторов поля, зарядов и токов. Уравнения электродинамики для комплексных амплитуд в интегральной форме. Интегральные уравнения электродинамики в случае спектральных сигналов	40
Глава 2. Дифференциальные уравнения электродинамики	45
§ 2.1. Теорема Остроградского—Гаусса. Теорема Стокса	45
§ 2.2. Переход от интегральных уравнений электродинамики к дифференциальным. Применение принципа перестановочной двойственности к дифференциальным уравнениям электродинамики	46
§ 2.3. Дифференциальные уравнения электродинамики в случае квазистатических и статических полей	48
§ 2.4. Несамостоятельность некоторых уравнений электродинамики	49
Глава 3. Основные законы электротехники как следствие уравнений электродинамики	50
§ 3.1. Вывод первого закона Кирхгофа на основании уравнений электродинамики	50
§ 3.2. Вывод второго закона Кирхгофа на основании уравнений электродинамики	51
Глава 4. Энергетические соотношения в электродинамике	55
§ 4.1. Теорема Пойнтинга для мгновенных значений векторов поля	55
§ 4.2. Теорема Пойнтинга для комплексных амплитуд векторов поля	59

Глава 5. Теорема единственности решения уравнений Максвелла . . .	63
§ 5.1. Постановка вопроса	63
§ 5.2. Теорема единственности решения уравнений Максвелла для ограниченного объема	63
§ 5.3. Теорема единственности решения уравнений Максвелла для неограниченного объема	66
Глава 6. Волновые уравнения и уравнения Гельмгольца для векторов поля	67
§ 6.1. Постановка вопроса	67
§ 6.2. Волновые уравнения для векторов поля	67
§ 6.3. Уравнения Гельмгольца для векторов поля	70
Глава 7. Решение однородных уравнений Гельмгольца в простейшем случае однородной изотропной среды. Плоские волны	71
§ 7.1. Постановка вопроса	71
§ 7.2. Определение вида скалярных уравнений, соответствующих уравнениям Гельмгольца в декартовой системе координат	71
§ 7.3. Плоские волны	72
§ 7.4. Групповая скорость	78
§ 7.5. Распространение плоских волн в различных средах	82
§ 7.6. Поляризация плоских волн	86
§ 7.7. Ортогональность векторов $\mathbf{E}(t)$ и $\mathbf{H}(t)$	89
Глава 8. Граничные условия для векторов поля	91
§ 8.1. Постановка вопроса	91
§ 8.2. Граничные условия для нормальных составляющих векторов поля	91
§ 8.3. Граничные условия для тангенциальных составляющих векторов поля	93
Глава 9. Падение плоской волны на плоскую границу раздела двух сред как пример применения граничных условий при решении простейшей краевой задачи	96
§ 9.1. Постановка вопроса	96
§ 9.2. Вывод основных уравнений. Законы Снеллиуса. Коэффициенты отражения и преломления	97
§ 9.3. Угол полного преломления (угол Брюстера)	103
§ 9.4. Полное внутреннее отражение	104
§ 9.5. Падение плоской волны на плоскую границу раздела с идеальным металлом	109
§ 9.6. Падение плоской волны на границу раздела с реальным металлом	109
§ 9.7. Мощность потерь в реальном металле	112
Глава 10. Картины поля, возникающие у идеальной металлической плоскости при падении на нее плоской волны. Двухплоскостной волновод	114
§ 10.1. Постановка вопроса	114
§ 10.2. Случай первый. Вектор \mathbf{E} лежит в плоскости падения. Волны электрического типа	115
§ 10.3. Случай второй. Вектор \mathbf{E} перпендикулярен плоскости падения. Волны магнитного типа	117
§ 10.4. Двухплоскостной волновод	118
Глава 11. Общие сведения о волнах электрического и магнитного типов	120
§ 11.1. Постановка вопроса	120
§ 11.2. Система скалярных уравнений Максвелла в сжатой ортогональной криволинейной системе координат	121
§ 11.3. Волны электрического и магнитного типов	122
Глава 12. Общие сведения о процессах в волноводах — реальных системах, канализирующих электромагнитное поле	127
§ 12.1. Постановка вопроса	127
§ 12.2. Основные сведения о процессах в волноводах быстрых волн	128
§ 12.3. Упрощение уравнений, связывающих поперечные составляющие поля с продольными, при использовании волноводов быстрых волн	134

§ 12.4.	Основные сведения о процессах в волноводах медленных волн . . .	136
§ 12.5.	Основные сведения о процессах в волноводах, канализирующих волны типа T	138
Глава 13. Прямоугольный волновод		139
§ 13.1.	Решение основного уравнения для продольных составляющих поля в прямоугольном волноводе	139
§ 13.2.	Волны электрического типа	141
§ 13.3.	Волны магнитного типа	144
§ 13.4.	Фазовая скорость, длина волны в волноводе, критическая длина волны, критическая частота. Волны основных типов в прямоугольном волноводе	146
§ 13.5.	Условия существования волн различных типов в прямоугольном волноводе	149
§ 13.6.	Определение картин поля в прямоугольном волноводе с помощью граничных условий у поверхности идеального металла	150
§ 13.7.	Аналитический метод построения картин поля в прямоугольном волноводе	156
Глава 14. Круглый волновод		159
§ 14.1.	Решение основного уравнения для продольных составляющих поля в круглом волноводе	159
§ 14.2.	Волны электрического типа	163
§ 14.3.	Волны магнитного типа	165
§ 14.4.	Фазовая скорость, длина волны в волноводе, критическая длина волны. Волны основных типов в круглом волноводе	167
§ 14.5.	Условия существования волн различных типов в круглом волноводе	167
§ 14.6.	Картинки поля в круглом волноводе	169
Глава 15. Круглый коаксиальный волновод		170
§ 15.1.	Возможные типы волн в круглом коаксиальном волноводе	170
§ 15.2.	Волны типа T	170
§ 15.3.	Волны электрического и магнитного типов	173
Глава 16. Бесконечно протяженная диэлектрическая пластина как пример волновода медленных волн		175
§ 16.1.	Постановка вопроса	175
§ 16.2.	Вывод основных соотношений	176
§ 16.3.	Четные и нечетные волны. Определение трансцендентных уравнений для поперечных волновых чисел	178
§ 16.4.	Решение трансцендентных уравнений и определение поперечных волновых чисел. Критические частоты в случае электрических волн различных типов	179
§ 16.5.	Коэффициент замедления поверхностных волн	182
§ 16.6.	Групповая скорость поверхностных волн	183
§ 16.7.	Картинки поля при использовании диэлектрической пластины в качестве замедляющей системы	184
Глава 17. Круглый диэлектрический волновод		184
§ 17.1.	Постановка вопроса	185
§ 17.2.	Вывод основного уравнения для продольных составляющих поля быстрой волны внутри круглого диэлектрического стержня и его решение	185
§ 17.3.	Вывод основного уравнения для продольных составляющих поля медленной волны вне диэлектрического стержня и его решение	186
§ 17.4.	Определение поперечных составляющих поля быстрой и медленной волн	188
§ 17.5.	Определение поперечных волновых чисел g , p и продольного волнового числа h . Возможность раздельного существования волн электрического и магнитного типов	189

Глава 18. Круглый спиральный волновод	195
§ 18.1. Постановка вопроса	195
§ 18.2. Вывод основного уравнения для продольных составляющих поля медленной волны и его решение. Составляющие поля в спиральном волноводе	196
§ 18.3. Определение поперечного и продольного волновых чисел	198
Глава 19. Гребенчатый металлический волновод	200
§ 19.1. Постановка вопроса	200
§ 19.2. Вывод основного уравнения для продольной составляющей электрического поля в гребенчатом волноводе и его решение	202
§ 19.3. Определение поперечного и продольного волновых чисел	205
Глава 20. Затухание поля в реальных волноводах	208
§ 20.1. Постановка вопроса	208
§ 20.2. Вывод уравнений для мощностей, теряемых в металле и диэлектрике волновода. Определение коэффициентов затухания	208
Глава 21. Общие сведения об объемных резонаторах. Объемный резонатор, созданный на базе прямоугольного волновода быстрых волн	213
§ 21.1. Общие сведения об объемных резонаторах	213
§ 21.2. Вывод выражений для составляющих поля электрического типа в резонаторе, созданном на базе прямоугольного волновода быстрых волн	215
§ 21.3. Вывод выражений для составляющих поля магнитного типа в резонаторе, созданном на базе прямоугольного волновода быстрых волн	218
§ 21.4. Определение резонансной частоты и основных типов волн в случае волн электрического и магнитного типов в резонаторе, созданном на базе прямоугольного волновода быстрых волн	219
§ 21.5. Условия существования в резонаторе волн заданного типа	221
§ 21.6. Картины поля в прямоугольном резонаторе	222
Глава 22. Объемный резонатор, созданный на базе круглого волновода быстрых волн	224
§ 22.1. Вывод выражений для составляющих поля электрического типа в резонаторе, созданном на базе круглого волновода быстрых волн	224
§ 22.2. Вывод выражений для составляющих поля магнитного типа в резонаторе, созданном на базе круглого волновода быстрых волн	226
§ 22.3. Определение резонансной частоты и основных типов волн в случае волн электрического и магнитного типов в резонаторе, созданном на базе круглого волновода быстрых волн	227
§ 22.4. Условия существования в резонаторе волн заданного типа	228
§ 22.5. Картины поля в круглом резонаторе	229
Глава 23. Объемный резонатор, созданный на базе круглого коаксиального волновода	229
§ 23.1. Постановка вопроса	229
§ 23.2. Вывод выражений для составляющих поля в коаксиальном объемном резонаторе, работающем на волнах типа Т	230
Глава 24. Объемный резонатор, созданный на базе Н-образного металлodieлектрического волновода медленных волн	233
§ 24.1. Постановка вопроса	233
§ 24.2. Вывод соотношений для составляющих поля магнитного типа в Н-образном металлodieлектрическом волноводе медленных волн	233
§ 24.3. Определение составляющих поля в объемном резонаторе, созданном на базе Н-образного металлodieлектрического волновода, в случае четных волн магнитного типа	234
§ 24.4. Определение поперечных волновых чисел g , p и резонансной частоты Н-образного металлodieлектрического резонатора	236

Глава 25. Добротность объемных резонаторов	238
§ 25.1. Постановка вопроса	238
§ 25.2. Вывод общего выражения для добротности объемных резонаторов	239
Глава 26. Эквивалентные параметры объемных резонаторов	241
§ 26.1. Постановка вопроса	241
§ 26.2. Определение эквивалентных параметров объемных резонаторов . . .	242
Глава 27. Потенциалы поля	244
§ 27.1. Постановка вопроса	244
§ 27.2. Исходные уравнения электродинамики для векторов поля с участием сторонних токов. Векторный электрический потенциал	245
§ 27.3. Векторный магнитный потенциал	249
Глава 28. Решение неоднородных уравнений Гельмгольца	250
§ 28.1. Постановка вопроса	250
§ 28.2. Разложение векторного уравнения Гельмгольца на скалярные. Ре- шение однородного скалярного уравнения Гельмгольца в сфериче- ской системе координат	250
§ 28.3. Первая и вторая теоремы Грина	253
§ 28.4. Использование второй теоремы Грина с целью получения решения уравнения Гельмгольца для векторного электрического потенциала. Условия излучения	254
§ 28.5. Отыскание решения уравнения Гельмгольца для векторного магнит- ного потенциала	259
Глава 29. Элементарный электрический вибратор	260
§ 29.1. Постановка вопроса	260
§ 29.2. Определение векторного электрического потенциала в поле элемен- тарного электрического вибратора	261
§ 29.3. Определение составляющих поля элементарного электрического вибратора	262
§ 29.4. Ближняя, промежуточная и дальняя зоны поля элементарного электрического вибратора	264
§ 29.5. Мощность, излучаемая элементарным электрическим вибратором в окружающее пространство. Сопротивление излучения	266
§ 29.6. Диаграмма направленности поля излучения элементарного электри- ческого вибратора в дальней зоне	268
Глава 30. Элементарный магнитный вибратор	270
§ 30.1. Постановка вопроса	270
§ 30.2. Определение составляющих поля элементарного магнитного vibra- тора	270
§ 30.3. Физический аналог элементарного магнитного вибратора. Эlemen- тарный щелевой вибратор	271
§ 30.4. Мощность, излучаемая элементарным магнитным вибратором в окру- жающее пространство. Сопротивление излучения. Диаграмма направ- ленности	274
Глава 31. Лемма Лоренца	275
§ 31.1. Постановка вопроса	275
§ 31.2. Вывод леммы Лоренца для ограниченного и неограниченного объемов	276
§ 31.3. Теорема взаимности для элементарных вибраторов как пример при- менения леммы Лоренца	277
Глава 32. Возбуждение электромагнитного поля в волноводах	279
§ 32.1. Постановка вопроса	279
§ 32.2. Общие принципы возбуждения в волноводах поля заданного типа	279
§ 32.3. Условия ортогональности волн в волноводах	281
§ 32.4. Определение амплитудных коэффициентов поля, возбужденного в волноводах заданной системой сторонних токов	283

Глава 33. Возбуждение электромагнитного поля в объемных резонаторах	288
§ 33.1. Постановка вопроса	288
§ 33.2. Условия ортогональности волн в объемных резонаторах	288
§ 33.3. Определение амплитудных коэффициентов поля, возбужденного в объемных резонаторах заданной системой сторонних токов	290
Глава 34. Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах	294
§ 34.1. Постановка вопроса	294
§ 34.2. Вид тензоров диэлектрической и магнитной проницаемостей намагниченных плазмы и феррита	295
§ 34.3. Продольное распространение плоских волн в намагниченной ферритовой среде. Эффект Фарадея	298
§ 34.4. Поперечное распространение плоских волн в намагниченной ферритовой среде. Эффект Коттона — Мутона	302
Глава 35. Элементы теории дифракции электромагнитного поля	305
§ 35.1. Постановка вопроса	305
§ 35.2. Дифракция плоской волны на бесконечном идеально проводящем металлическом цилиндре	305
§ 35.3. Первая и вторая граничные задачи электродинамики и соответствующие им теоремы. Теорема эквивалентности	311
§ 35.4. Определение суммарного поля, создаваемого сторонними токами в случае присутствия в рассматриваемой части пространства дополнительных поверхностей. Формулы типа Гюйгенса — Кирхгофа	313
§ 35.5. Дифракция плоских волн на отверстиях в бесконечно протяженном идеально проводящем экране	316
Глава 36. Принцип электродинамического подобия	318
§ 36.1. Постановка вопроса	318
§ 36.2. Математические условия электродинамического подобия	319
Глава 37. Некоторые вопросы взаимодействия электронов с электромагнитным полем	321
§ 37.1. Постановка вопроса	321
§ 37.2. Движение электрона в электромагнитном поле	321
§ 37.3. Фиктивный угол пролета электронов	324
§ 37.4. Полный ток, возникающий между электродами	325
§ 37.5. Взаимодействие между электронным потоком и электрическим полем	326
§ 37.6. Возбуждение поля электронным пучком	330
Приложения	335
Приложение I. Элементы векторного анализа	335
§ I.1. Понятие о дивергенции и роторе векторной функции	335
§ I.2. Понятие о градиенте скалярной функции	336
§ I.3. Криволинейная ортогональная обобщенная система координат	337
§ I.4. Выражения для дивергенции, ротора и градиента в криволинейной ортогональной обобщенной системе координат	340
§ I.5. Выражения для дивергенции, ротора и градиента в конкретных системах координат	343
§ I.6. Некоторые векторные тождества	344
§ I.7. Выражения для $\nabla^2 U$ и $\nabla^2 \mathbf{a}$ в криволинейной ортогональной обобщенной системе координат	345
Приложение II. Расчет коэффициентов затухания поля h' в прямоугольных волноводах	345
§ II.1. Расчет коэффициентов затухания поля h' в прямоугольных волноводах в случае волн магнитного типа	345
§ II.2. Расчет коэффициентов затухания поля h' в прямоугольных волноводах в случае волн электрического типа	352

§ II.3. Расчет коэффициентов затухания поля h' в круглых волноводах в случае волн магнитного типа	353
§ II.4. Расчет коэффициентов затухания поля h' в круглых волноводах в случае волн электрического типа	359
Приложение III. Определение добротностей объемных резонаторов	363
§ III.1. Определение добротностей прямоугольных объемных резонаторов в случае волн магнитного типа	363
§ III.2. Определение добротностей прямоугольных объемных резонаторов в случае волн электрического типа	368
§ III.3. Определение добротностей цилиндрических объемных резонаторов в случае волн магнитного типа	370
§ III.4. Определение добротностей цилиндрических объемных резонаторов в случае волн электрического типа	375
Приложение IV. Примеры расчета амплитудных коэффициентов электромагнитных полей в волноводах и объемных резонаторах	378
§ IV.1. Пример расчета амплитудного коэффициента волны типа H_{10} в прямоугольном волноводе	378
§ IV.2. Пример расчета амплитудного коэффициента волны типа H_{101} в прямоугольном объемном резонаторе	380
Приложение V. Конкретные примеры применения принципа электродинамического подобия	381
Приложение VI. Расчет сопротивлений излучения возбуждающих устройств в волноводах. Расчет входных сопротивлений объемных резонаторов	383
§ VI.1. Расчет сопротивлений излучения возбуждающих устройств в волноводах	383
§ VI.2. Расчет входных сопротивлений объемных резонаторов	385
Приложение VII. Определение добротности нагруженных резонаторов	386
Приложение VIII. Расчет дифракционного поля плоской волны на прямоугольном отверстии в идеальном металлическом экране	387
Список рекомендуемой литературы	391