

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	11
Глава 1. Импеданс как общая характеристика различных волновых процессов	17
1.1. Общее понятие об импедансе	17
1.1.1. Введение импеданса на основе закона Ома	18
1.1.2. Импеданс активных и реактивных элементов	18
1.2. Импеданс цепи с последовательным соединением активных и реактивных элементов	20
1.2.1. Замечание об общности выражений для импедансов реактивных элементов	21
1.3. Волновой процесс и импеданс в двухпроводной линии	22
1.3.1. Импеданс двухпроводной линии с потерями	26
1.3.2. Общность понятия длинной линии	28
1.4. Волновое уравнение для гибкой струны	29
1.4.1. Замечание о жесткой струне	32
1.5. Общее определение импеданса из волнового уравнения	32
1.5.1. Определение параметра нормировки для длинной линии	35
1.5.2. Замечание о выборе переменных	36
1.6. Импеданс для одномерной волны	37
1.6.1. Граничные условия для одномерной волны	39
1.7. Волновое уравнение для акустической волны в жидкости	40
1.7.1. Импеданс для акустической волны	43
1.7.2. Граничные условия для акустической волны	45
1.8. Волновое уравнение для электромагнитной волны	46
1.8.1. Импеданс для электромагнитной волны	47
1.8.2. Граничные условия для электромагнитной волны	51
1.9. Общность волновых явлений разной природы	52
1.10. Размерность и физический смысл понятия импеданса	54
1.10.1. Одномерная волна	55
1.10.2. Акустика	55
1.10.3. Электродинамика	55
1.11. Замечание о физическом смысле понятия импеданса	56
Выводы по главе 1	57
Глава 2. Обобщенный импеданс для волновых процессов	59
2.1. Основание для введения обобщенного импеданса	59
2.2. Обобщенный импеданс для одномерной волны	60

2.3. Обобщенный импеданс для акустической волны	61
2.3.1. Продольное распространение вдоль оси Ox	61
2.3.2. Наклонное распространение относительно оси Ox	62
2.4. Обобщенный импеданс для электромагнитной волны	65
2.4.1. Продольное распространение вдоль оси Ox	65
2.4.2. Наклонное распространение относительно оси Ox , про- дольная поляризация	67
2.4.3. Наклонное распространение относительно оси Ox , попе- речная поляризация	69
2.5. Обобщенный импеданс для различных волновых процессов . . .	71
2.5.1. Одномерная волна	71
2.5.2. Акустическая волна, продольное распространение	71
2.5.3. Акустическая волна, наклонное распространение	71
2.5.4. Электромагнитная волна, продольное распространение . .	71
2.5.5. Электромагнитная волна, наклонное распространение, продольная поляризация	71
2.5.6. Электромагнитная волна, наклонное распространение, по- перечная поляризация	72
2.5.7. Общий вид формулы для импеданса	72
2.6. Сводная таблица импедансов	72
Выводы по главе 2	73
Глава 3. Основные приемы работы с обобщенным импедансом. . .	74
3.1. Распространение одномерной волны через одну и две границы	74
3.1.1. Одна граница	74
3.1.2. Две границы	76
3.2. Последовательное применение прямого метода импеданса к двум границам	78
3.3. Прямой метод импеданса для двух границ	82
3.4. Метод последовательных вычислений	84
3.4.1. Метод входного и выходного импедансов	84
3.4.2. Пересчет импеданса с последующей границы на предыду- щую при падении прямой волны	86
3.4.3. Пересчет импеданса с последующей границы на предыду- щую при падении встречной волны	88
Выводы по главе 3	90
Глава 4. Применение обобщенного импеданса для решения задач о распространении одномерных волн	92
4.1. Основные принципы рассмотрения волн в структурах, содержа- щих от двух до пяти сред	92
4.2. Волны в структуре, содержащей две среды	92
4.3. Волны в структуре, содержащей три среды	95
4.3.1. Решение прямым методом	97
4.3.2. Решение методом входного импеданса	98
4.3.3. Выходящая встречная волна при падении прямой волны	98

4.3.4. Выходящая прямая волна при падении прямой волны . . .	99
4.3.5. Выходящая прямая волна при падении встречной волны	101
4.3.6. Выходящая встречная волна при падении встречной волны	101
4.4. Волны в структуре, содержащей четыре среды	103
4.4.1. Решение методом входного импеданса	105
4.4.2. Выходящая встречная волна при падении прямой волны	105
4.4.3. Выходящая прямая волна при падении прямой волны . . .	106
4.4.4. Выходящая прямая волна при падении встречной волны	108
4.4.5. Выходящая встречная волна при падении встречной волны	109
4.5. Волны в структуре, содержащей пять сред	110
4.5.1. Выходящая встречная волна при падении прямой волны	112
4.5.2. Выходящая прямая волна при падении прямой волны . . .	113
4.5.3. Выходящая прямая волна при падении встречной волны	115
4.5.4. Выходящая встречная волна при падении встречной волны	116
4.6. Волны в структуре, содержащей произвольное число сред	117
4.7. Общая схема пересчета входного импеданса от последующей среды к предыдущей	120
4.8. Реализация общей схемы пересчета импеданса на примере трех сред	121
4.9. Пересчет импеданса при произвольном числе сред	123
4.9.1. Применение пересчета импеданса для получения амплитуд выходящих волн	124
4.9.2. Выходящая встречная волна при падении прямой волны	124
4.9.3. Выходящая прямая волна при падении встречной волны	125
4.10. Общая схема пересчета амплитуд от последующей среды к предыдущей	126
4.11. Реализация общей схемы пересчета амплитуд на примере трех сред	128
4.12. Пересчет амплитуд при произвольном числе сред	129
4.12.1. Выходящая прямая волна при падении прямой волны . .	130
4.12.2. Выходящая встречная волна при падении встречной волны	131
Выводы по главе 4	132
Глава 5. Применение обобщенного импеданса для решения задач о распространении волн различной природы	134
5.1. Замечание о единообразии применения импедансных методов для различных случаев	134
5.2. Учет преломления волн на границах между средами	135
5.3. Одномерная волна	136
5.3.1. Падение прямой волны	137
5.3.2. Падение встречной волны	138

5.4. Акустическая волна в жидкости. Нормальное падение	140
5.5. Акустическая волна в жидкости. Наклонное падение.	140
5.5.1. Падение прямой волны	142
5.5.2. Падение встречной волны	144
5.6. Электромагнитная волна. Нормальное падение	145
5.6.1. Падение прямой волны	147
5.6.2. Падение встречной волны	148
5.7. Электромагнитная волна. Наклонное падение. Продольная поляризация	149
5.7.1. Падение прямой волны	151
5.7.2. Падение встречной волны	152
5.8. Электромагнитная волна. Наклонное падение. Поперечная поляризация	153
5.8.1. Падение прямой волны	155
5.8.2. Падение встречной волны	156
Выводы по главе 5	156
Глава 6. Адаптация метода импеданса к решению практических задач.	158
6.1. Обобщенный импеданс для одномерной волны	158
6.1.1. Общая геометрия задачи	161
6.1.2. Общий характер последовательного рассмотрения	163
6.2. Пересчет импедансов	163
6.2.1. Входной и выходной импедансы	163
6.2.2. Граничное условие для импедансов	165
6.2.3. Формулировка задачи пересчета импедансов	165
6.2.4. Пересчет импедансов для соседствующих сред	165
6.2.5. Особенность пересчета на конце структуры	167
6.2.6. Схема пошагового пересчета импедансов	168
6.2.7. Коэффициент отражения	169
6.3. Пересчет амплитуд.	171
6.3.1. Смещения	172
6.3.2. Импедансы	173
6.3.3. Амплитуды прямой и встречной волн	174
6.3.4. Полная схема пересчета амплитуд	175
6.3.5. Схема пошагового пересчета амплитуд	178
6.3.6. Коэффициенты отражения и прохождения	179
6.4. Сравнение пересчета импедансов с пересчетом амплитуд	180
Выводы по главе 6	180
Глава 7. Применение метода импеданса для расчета распространения волны через прямоугольный барьер	183
7.1. Геометрия задачи и основные уравнения	183
7.2. Единичный барьер	185
7.3. Действительный отрицательный барьер	186

7.3.1. Аналитическое моделирование периодичности наблюдаемых зависимостей	187
7.3.2. Изменение волнового числа	191
7.3.3. Периодичность смены режимов	192
7.4. Действительный положительный барьер	194
7.4.1. Периодичность импеданса при изменении волнового числа	195
7.4.2. Периодичность импеданса при изменении координаты	196
7.5. Коэффициент отражения	198
7.5.1. Изменение высоты барьера	201
7.6. Модель резонанса внутри барьера	201
7.6.1. Изменение длины барьера	204
7.7. Комплексный барьер	206
Выводы по главе 7	209
Глава 8. Применение метода импеданса для расчета распространения волны через ступенчато нарастающий барьер	213
8.1. Геометрия задачи и основной математический аппарат	213
8.2. Распределение волновых чисел и длин волн по слоям структуры	216
8.2.1. Пример распределения для структуры из 16 слоев	217
8.3. Формирование амплитуды колебаний при различной длине структуры	218
8.4. Коэффициенты отражения и прохождения при крайних значениях волновых чисел	219
8.5. Коэффициент отражения при изменении длины структуры	220
8.5.1. Уровень отклонения коэффициента отражения от максимального значения	223
8.5.2. Интерпретация линейного характера зависимости длины структуры от максимальной длины волны	225
8.6. Коэффициент прохождения при изменении длины структуры	227
8.7. Отражение, прохождение и поглощение в диссипативной среде	228
8.8. Отражение, прохождение и поглощение в среде с отрицательной диссипацией	230
Выводы по главе 8	233
Глава 9. Определение с помощью метода импеданса критерия применимости ступенчатого приближения линейно-неоднородной среды	236
9.1. Обоснование необходимости получения критерия применимости ступенчатого приближения	236
9.2. Общая геометрия задачи	238
9.3. Ступенчатое приближение	239
9.3.1. Схема ступенчатой структуры	241
9.4. Общие характеристики распространяющихся волн	242

9.5. Базовые распределения волновых чисел	244
9.5.1. Критическое значение максимального волнового числа . . .	246
9.5.2. Степень приближения линейной структуры ступенчатой . . .	249
9.6. Замечание о других видах неоднородностей	251
9.6.1. Некоторые возможности дальнейшей разработки	255
Выводы по главе 9	256
Глава 10. Метод исключения	259
10.1. Геометрия задачи, волновые функции и граничные условия. . . .	259
10.1.1. Волновые функции первого и второго рода	260
10.1.2. Граничные условия	261
10.2. Условия сопряжения для волновых функций.	261
10.2.1. Прямой метод	261
10.2.2. Метод усреднения	264
10.3. Входящие и выходящие волны относительно всей структуры в целом	267
10.4. Соотношения прямой передачи	269
10.4.1. Прямая передача первого рода	269
10.4.2. Прямая передача второго рода	271
10.5. Процедура последовательных подстановок	273
10.6. Входная и выходная ячейки	275
10.6.1. Начало структуры (среды 1 и 2)	275
10.6.2. Замечания относительно входного конца структуры	278
10.6.3. Конец структуры (среды $N - 1$ и N)	279
10.6.4. Замечание относительно выходного конца структуры . . .	281
10.7. Произвольное число сред	282
10.7.1. Амплитуды выходящих волн. Передача во всех средах кроме первой и последней	282
10.7.2. Амплитуды выходящих волн при учете передачи во всех средах	283
10.8. Две среды	285
10.8.1. Амплитуды выходящих волн при передаче в обеих средах	285
10.9. Три среды.	288
10.9.1. Амплитуды выходящих волн. Передача во второй среде . . .	288
10.9.2. Амплитуды выходящих волн в общем виде для методов прямого и усреднения. Передача во второй среде	290
10.9.3. Амплитуды выходящих волн. Передача во второй и тре- тью сред	292
10.9.4. Амплитуды выходящих волн. Передача во всех средах . . .	294
10.10. Четыре среды	297
10.10.1. Амплитуды выходящих волн. Передача во второй и тре- тью сред	297
10.10.2. Амплитуды выходящих волн. Передача во всех средах . . .	299
10.11. Пять сред	302
10.11.1. Амплитуды выходящих волн. Передача во всех средах . . .	302

10.12. Полная процедура последовательных подстановок. Условия сопряжения	304
10.13. Произвольное число сред. амплитуды выходящих волн в общем виде при передаче во всех средах	309
10.14. Схема численной реализации метода исключения	312
10.15. Возможные варианты передачи для структуры, состоящей из произвольного числа сред	314
10.16. Обобщение на случай электромагнитных волн	315
Выводы по главе 10	317
Глава 11. Применение метода исключения для задач о распространении волн через структуры с линейными и квадратичными неоднородностями	320
11.1. Линейная неоднородность	320
11.2. Квадратичная полуцилиндрическая неоднородность	323
11.3. Полуэллиптическая неоднородность	325
11.3.1. Приближение полуэллиптической неоднородности ступенчатой структурой	326
11.3.2. Критерий применимости ступенчатого приближения	327
11.3.3. Полуэллиптические неоднородности частных видов	328
Выводы по главе 11	329
Глава 12. Применение метода исключения для задач о распространении волн через структуры с барьерными и периодическими неоднородностями	331
12.1. Геометрия задачи и схема барьерной неоднородности	331
12.2. Метод исключения для барьерной неоднородности	333
12.2.1. Энергетические параметры распространения волн	334
12.2.2. Зависимость от частоты и диссипации среды	334
12.3. Прохождение волны через единичный барьер	335
12.3.1. Изменение длины единичного барьера	337
12.4. Прохождение волны через два единичных барьера	339
12.4.1. Изменение расстояния между барьерами	339
12.4.2. Изменение длины барьеров	341
12.5. Произвольное количество и длина барьеров	342
12.6. Периодическая неоднородность из единичных барьеров	343
12.6.1. Малое количество барьеров	343
12.6.2. Большое количество барьеров	345
12.7. Вторичная модуляция коэффициентов отражения и прохождения	349
12.7.1. Зависимости коэффициентов от частоты	349
12.7.2. Изменение соотношения скоростей	350
12.7.3. Изменение протяженностей промежутков	352
12.7.4. Влияние диссипации на вторичную модуляцию	353
12.7.5. Возможный механизм вторичной модуляции	354
12.8. Обобщение на случай электромагнитных волн	355

12.8.1. Электромагнитная волна в проводящей среде	356
Выводы по главе 12	358
Глава 13. Применение метода исключения для задачи о распро-	
 странении волн через структуры со случайными неоднородно-	
 стями	361
13.1. Геометрия задачи и схема метода расчета	361
13.2. Задание случайного характера распределения волновых чисел. .	362
13.3. Отражение волны от двухслойной структуры	364
13.4. Отражение волны от многослойной структуры различной длины	366
13.4.1. Плотность распределения амплитуды	366
13.4.2. Амплитуда отраженной волны	369
13.5. Отражение при изменении характера случайности внутренних	
слоев структуры	370
13.6. Некоторые заключительные замечания	373
Выводы по главе 13	374
Глава 14. Метод переотражений	376
14.1. Место метода переотражений в настоящем рассмотрении	376
14.2. Падение волны прямого направления	377
14.2.1. Общая геометрия задачи	377
14.2.2. Представление единичной ячейки	379
14.2.3. Частичные коэффициенты отражения и прохождения . .	380
14.2.4. Амплитуды частичных волн	380
14.2.5. Амплитуды внешних волн	382
14.2.6. Амплитуды внутренних волн	384
14.3. Сравнение с прямым методом.	386
14.4. Выражение коэффициентов отражения и прохождения для одной	
границы через волновые числа соседствующих сред.	388
14.5. Падение волны встречного направления.	390
14.5.1. Общая геометрия задачи	390
14.5.2. Представление единичной ячейки	392
14.5.3. Частичные коэффициенты отражения и прохождения . .	393
14.5.4. Амплитуды частичных волн	393
14.5.5. Амплитуды внешних волн	394
14.5.6. Амплитуды внутренних волн	395
14.6. Некоторые заключительные замечания	397
Выводы по главе 14	397
Литература	399