

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
Розділ 1. Сучасний кабельний зв'язок	11
1.1. Короткий огляд розвитку лінії зв'язку.....	11
1.2. Загальні відомості про лінії зв'язку.....	15
1.3. Напрявні системи передачі.....	17
1.4. Принципи побудови телекомунікаційних мереж.....	23
1.5. Структуровані кабельні системи.....	33
1.6. Багатоканальна передача напрямними системами.....	38
1.7. Порівняння різних напрямних систем.....	39
1.8. Принципи побудови волоконно-оптичних систем передачі.....	43
1.8.1. Узагальнена структурна схема волоконно-оптичної системи передачі.....	44
1.8.2. Класифікація волоконно-оптичних систем передачі.....	46
1.8.3. Способи ущільнення оптичних кабелів.....	50
Розділ 2. Конструкції напрямних систем	53
2.1. Класифікація електричних кабелів.....	53
2.2. Маркування кабелів.....	54
2.3. Маркування структурованих кабельних систем.....	56
2.4. Провідники.....	60
2.5. Ізоляція.....	62
2.6. Типи скруток у групи.....	66
2.7. Побудова сердечника кабелю.....	68
2.8. Заповнювач сердечника та поясна ізоляція.....	70
2.9. Захисні оболонки.....	72
2.10. Захисні бронепокрови.....	73
2.10.1. Подушка.....	75
2.10.2. Зовнішній покрив.....	76
2.11. Конструкції оптичних кабелів.....	76
2.12. Підводні кабелі.....	79
2.12.1. Конструкція підводних кабелів.....	80
2.12.2. Застосування на території України підводних кабелів.....	82
2.12.3. Забезпечення цілісності та збереження підводних ВОЛЗ.....	82
Розділ 3. Електродинаміка напрямних систем	83
3.1. Вихідні рівняння електродинаміки.....	84
3.2. Граничні умови для векторів електромагнітного поля.....	86
3.3. Енергетичне співвідношення електромагнітного поля.....	88
3.4. Типи та класи електромагнітних хвиль.....	90
3.5. Швидкість поширення електромагнітних хвиль.....	92
3.6. Режими передачі по напрямних системах.....	93
3.7. Електромагнітні процеси в провідниках і діелектриках.....	97
3.7.1. Електромагнітне поле в діелектрику ($\omega\epsilon_a \gg \sigma$).....	97
3.7.2. Електромагнітне поле в провіднику ($\sigma \gg \omega\epsilon_a$).....	98
3.8. Шорсткість поверхонь.....	99
3.9. Електромагнітне поле в ближчій і далекій зонах.....	100
Розділ 4. Поширення хвиль у напрямних системах електричного зв'язку	105
4.1. Теорія передачі двопровідними напрямними системами.....	105
4.1.1. Передавання енергії у двопровідних напрямних системах.....	105
4.1.2. Телеграфне рівняння.....	107
4.1.3. Рівняння передачі.....	109

4.1.4.	Хвильовий опір	111
4.1.5.	Коефіцієнт поширення	113
4.1.6.	Частотні області для електричних кабелів.....	115
4.1.7.	Хвильове рівняння для хвиль типу Т	118
4.1.8.	Швидкість поширення двопровідними напрямними системами	120
4.2.	Передача імпульсних сигналів кабельними колами.....	121
4.2.1.	Фізичні процеси під час передавання імпульсних сигналів	121
4.2.2.	Перехідні та імпульсні характеристики кабельних ланок	122
4.2.3.	Спотворення прямокутного імпульсу під час передавання кабелями зв'язку.....	124
4.3.	Властивості неоднорідних ліній.....	126
4.3.1.	Коефіцієнти відбивання	126
4.3.2.	Лінії з неузгодженими навантаженнями на кінцях	128
4.3.3.	Лінії неоднорідні за довжиною.....	130
4.3.4.	Конструктивні неоднорідності в коаксіальному кабелі.....	131
4.4.	Принципи організації зв'язку по кабелях електричного зв'язку	134
4.5.	Коаксіальні кабелі	138
4.5.1.	Електричні процеси в коаксіальних колах.....	138
4.5.2.	Електромагнітне поле коаксіальної ланки.....	141
4.5.3.	Передавання енергії по ідеальній коаксіальній ланці	142
4.5.4.	Передача енергії по коаксіальній ланці з урахуванням втрат у провідниках	144
4.5.5.	Ємність і провідність ізоляції коаксіальних ланок	150
4.5.6.	Основні залежності первинних параметрів коаксіальних ланок	151
4.5.7.	Вторинні параметри передачі коаксіальних ланок	152
4.5.8.	Оптимальні співвідношення діаметрів провідників коаксіальної ланки	155
4.6.	Симетричні кабелі	158
4.6.1.	Електромагнітні процеси в симетричних колах	158
4.6.2.	Передавання енергії по ідеальній симетричній ланці	160
4.6.3.	Передача енергії по симетричній ланці з урахуванням втрат	163
4.6.4.	Ємність і провідність ізоляції симетричних ланок	166
4.6.5.	Параметри симетричних екранованих ланок	168
4.6.6.	Параметри ланок повітряних ліній зв'язку.....	170
4.6.7.	Основні залежності первинних параметрів симетричних ланок	171
4.6.8.	Вторинні параметри симетричних кіл.....	172
4.7.	Кабелі зі штучно збільшеною індуктивністю	173
4.7.1.	Оптимальне відношення параметрів напрямних систем	173
4.7.2.	Пупінізація кабелів зв'язку	175
4.7.3.	Інші способи збільшення індуктивності кабелів.....	177
4.8.	Радіочастотні кабелі	178
4.8.1.	Область застосування і класифікація радіочастотних кабелів	178
4.8.2.	Особливості розрахунку електричних параметрів радіочастотних коаксіальних кабелів	180
4.8.3.	Радіочастотні спіральні кабелі.....	181
4.8.4.	Радіочастотні симетричні кабелі	183
4.8.5.	Стрічкові кабелі	184
4.9.	Надпровідні кабелі	188
4.9.1.	Надпровідники й діелектрики за криогенних температур	188
4.9.2.	Електричний розрахунок надпровідних кабелів	191
4.9.3.	Конструктивні характеристики надпровідних кабельних ліній.....	193
Розділ 5. Поширення хвиль в однопровідних напрямних системах		196
5.1.	Фізичні процеси в однопровідних напрямних системах.....	196
5.2.	Променева теорія передавання однопровідними напрямними системами.....	197

5.3. Критична довжина хвилі та фаза	198
5.4. Параметри електромагнітних хвиль E та H типу	199
5.4.1. Хвильовий опір для хвиль типу E	200
5.4.2. Хвильовий опір для хвиль типу H	201
5.4.3. Швидкість поширення хвиль типів E та H	202
5.5. Хвилеводи	203
5.5.1. Фізичні процеси в хвилеводах	203
5.5.2. Особливості хвиль H_{01} у циліндричному хвилеводі	207
5.5.3. Суцільнометалеві і спіральні хвилеводи	208
5.2. Лінії поверхневої хвилі	210
5.3. Інтегральні оптичні хвилеводи	213
5.3.1. Планарний діелектричний хвилевід	213
5.3.2. Моді в симетричному планарному хвилеводі	215
5.3.3. Моді в асиметричному планарному хвилеводі	221
Розділ 6. Фізичні процеси в волоконних світловодах	224
6.1. Оптичні кабелі зв'язку (вихідні положення)	224
6.2. Показники заломлення оптичних волокон	226
6.3. Променева теорія передавання світловодами	229
6.4. Хвильова теорія передавання світловодами	233
6.5. Затухання світловодів	241
6.6. Дисперсія та пропускна здатність світловодів	246
6.7. Поляризаційна модова дисперсія	251
6.8. Типи одномодових волокон	253
6.9. Дальність зв'язку і довжина регенераційної ділянки	254
6.10. Коефіцієнт фази, хвильовий опір і швидкість передавання світловодами	256
6.11. Основні нелінійні явища у волоконних світловодах	258
6.11.1. Фазова самотуляція та фазова крос-модуляція	259
6.11.2. Чотирихвильове змішування	260
6.11.3. Комбінаційне або раманівське розсіювання	262
6.11.4. Розсіювання Мандельштама–Бріллюена	264
6.12. Оптичні солітони	265
6.12.1. Фізика солітонів	266
6.12.2. Методи формування солітонів	268
6.12.3. Основні ефекти і обмеження, пов'язані з солітонами	269
Розділ 7. Функціональні компоненти волоконно-оптичних систем передачі	272
7.1. Оптичні передавачі	272
7.2. Оптичний підсилувач	279
7.2.1. Принцип дії оптичного підсилувача	279
7.2.2. Напівпровідникові оптичні підсилувачі	281
7.3. Оптичні приймачі	284
7.3.1. p-i-n фотодіоди	286
7.3.2. Лавинні фотодіоди	287
7.3.3. Шуми приймачів оптичного випромінювання	288
7.4. Оптичні регенератори та підсилувачі	290
7.5. Поширення електромагнітних хвиль в анізотропному середовищі	292
7.6. Оптичні модулятори	296
7.6.1. Електрооптичні модулятори	298
7.6.2. Інтегральний оптичний модулятор на основі інтерферометра Маха–Цендера	300
7.6.3. Магнітооптичний модулятор	301
7.6.3.1. Оптична активність речовини. Обертання площини поляризації	301
7.6.3.2. Магнітооптичні ефекти	303

7.6.3.3. Приклад магнітооптичного модулятора	305
7.6.4. Акустооптичний модулятор.....	305
7.7. Оптичні комутатори.....	307
7.7.1. Механічні оптичні комутатори.....	308
7.7.2. Електрооптичні комутатори.....	308
7.7.3. Термооптичні комутатори.....	310
7.7.4. Оптоелектронні комутатори на основі напівпровідникових оптичних підсилювачів	311
7.7.5. Комутатори на фотонних кристалах	311
7.7.6. Комутатори на багат шарових рідкокристалічних матрицях світловодів	313
7.7.7. Комутатори на матрицях оптоелектронних вентилів, комутованих лазерним променем	314
7.8. Оптичні хвилеві конвертори	315
7.8.1. Оптоелектронні конвертори.....	315
7.8.2. Конвертори на основі оптичної перехресної модуляції	315
7.8.3. Конвертори на основі фєроелектричного кристала	317
7.8.4. Конвертори на основі ефекту чотиривильового зміщення та інших нєлінійних ефектів.....	317
7.9. Оптичні фільтри	318
7.9.1. Фільтри на основі резонатора Фабрі–Перо.....	319
7.9.2. Поляризаційні фільтри на рідких кристалах	320
7.9.3. Акустооптичні фільтри	320
7.9.4. Тонкоплівкові фільтри	322
7.9.5. Фільтри на основі оптичного волокна	324
7.10. Роз’ємні та нероз’ємні з’єднання оптичних волокон оптичного кабєлу.....	325
7.10.1. Нєроз’ємні з’єднання	325
7.10.1.1. З’єднання за допомогою зварювання.....	326
7.10.1.2. З’єднання за допомогою клею	327
7.10.2. Роз’ємні з’єднання	328
7.10.3. Типи оптичних з’єднувачів	331
7.10.4. Причини втрат при з’єднанні волокон	334
7.11. Атенуатор	335
7.12. Оптичні ізолятори.....	336
7.13. Оптичний циркулятор	337
7.14. Компенсатори дисперсії.....	339
7.14.1. Волокно, що компенсує дисперсію	341
7.14.2. Компенсатори на дифракційних решітках Брегга.....	342
7.15. Оптичні відгалужувачі (розгалужувачі)	343
7.15.1. Неселективні розгалужувачі	345
7.15.2. Оптичні мультиплексори–демультиплексори	347
7.15.2.1. Дифракційні решітки.....	348
7.15.2.2. Мультиплексори і демультиплексори CWDM.....	350
7.15.2.3. Технологія, що використовує дифракційні решітки на масиві хвилеводів	351
7.15.2.4. Технологія тривимірного оптичного мультиплексування	354
7.16. Оптичні елементи на основі активних скловолокон.....	354
7.16.1. Волоконний лазер	355
7.16.1.1. Накачування	356
7.16.1.2. Резонатори.....	357
7.16.1.3. Однополяризаційні лазери	358
7.16.1.4. Ур-конверсійні лазери	359
7.16.1.5. ВКР-лазери	359

7.16.1.6. Волоконні лазери на фотонних кристалах	360
7.16.2. Волоконно-оптичні підсилювачі.....	360
7.16.2.1. Оптичні підсилювачі, що використовують нелінійні явища в оптичному волокні	361
7.16.2.2. Волоконні ВКР-підсилювачі	362
7.16.2.3. Волоконні ВРМБ-підсилювачі	363
7.16.2.4. Параметричні підсилювачі	363
7.16.3. Оптичні підсилювачі на оптичному волокні, легваному на рідкоземельному елементі.....	363
7.16.4. Інтегральні активно-хвильоводні комутатори	368
Розділ 8. Взаємні впливи і захищеність ланок напрямних систем	371
8.1. Проблема електромагнітної сумісності в напрямних системах, основні визначення і параметри взаємного впливу	371
8.2. Методи дослідження взаємних впливів	375
8.3. Вторинні параметри впливу.....	377
8.3.1. Перехідне затухання на ближчому та дальшому кінцях ліній.....	377
8.3.2. Параметр захищеності	379
8.3.3. Вторинні параметри впливу в структурованих кабельних системах.....	380
8.4. Основні поняття про вплив між симетричними колами. Електричні та магнітні впливи	383
8.5. Первинні параметри в однорідних симетричних лініях зв'язку	384
8.6. Вплив між ланками симетричних кабельних ліній зв'язку	388
8.7. Основні рівняння впливу в симетричних лініях зв'язку	390
8.8. Аналіз перехідного затухання.....	393
8.9. Основні та штучні ланки, напруга і заряди в багатопровідних лініях	397
8.10. Електромагнітний вплив за наявності третьої ланки. Процеси в багатопровідних лініях	398
8.11. Засоби захисту ліній зв'язку від взаємних впливів та нормування взаємних впливів між колами.....	401
8.12. Розташування ланок симетричних кабелів для забезпечення мінімальних взаємних впливів. Метод дзеркального відображення	403
8.13. Захист кіл симетричних кабельних ліній зв'язку від взаємних впливів методом скрутки	406
8.14. Симетрування кабелів зв'язку.....	407
8.14.1. Конденсаторне симетрування	409
8.14.2. Симетрування схрещуванням.....	411
8.14.3. Симетрування низькочастотних кабелів	412
8.14.4. Симетрування високочастотних кабелів	414
8.14.5. Концентроване симетрування за допомогою контурів протизв'язку	414
8.14.5.1. Симетрування ВЧ-кабелів за характеристиками захищеності	415
8.14.5.2. Симетрування ВЧ-кабелів за комплексними зв'язками.....	416
8.15. Захист від взаємних впливів трактів ЦСП і комбінованих систем передавання	417
8.16. Взаємний вплив у коаксіальних кабелях.....	419
8.17. Взаємні впливи в оптичних кабелях зв'язку.....	422
Розділ 9. Екранування кабелів зв'язку	424
9.1. Застосування екранів	424
9.2. Принцип екранування в широкому діапазоні частот.....	425
9.3. Електромагнітостатичне екранування	428
9.4. Електромагнітне екранування	430
9.5. Хвильовий режим екранування	432
9.6. Принцип дії магнітних і немагнітних екранів	432
9.7. Порівняння екранів різних конструкцій	433

9.8. Екрануючий ефект із врахуванням поздовжніх струмів	435
9.9. Екрануючі характеристики багатопроводових екранів	437
Розділ 10. Зовнішні впливи на напрямні системи та корозія	439
10.1. Фізична сутність і джерела електромагнітного впливу на напрямні системи	439
10.2. Види та класифікація зовнішніх впливів	440
10.3. Вплив атмосферної електрики	441
10.4. Вплив ліній передач	444
10.5. Впливи електрифікованих залізних доріг і міського електротранспорту	445
10.6. Особливості впливу на повітряні та кабельні лінії зв'язку	446
10.7. Розрахунок небезпечного магнітного впливу	446
10.8. Вплив радіостанцій на лінії зв'язку	448
10.9. Захист споруд зв'язку від зовнішніх впливів	450
10.9.1. Міри захисту споруд зв'язку від зовнішніх впливів	450
10.9.2. Захист кабельних ліній від грози	450
10.9.3. Екрануючі троси	452
10.9.4. Заземлення кабелів зв'язку	453
10.10. Корозія в напрямних системах	453
Розділ 11. Проектування та технічне обслуговування напрямних систем	458
11.1. Вибір траси магістралі	458
11.2. Розміщення підсилювальних пунктів	458
11.3. Прокладання і монтаж кабелів	459
11.3.1. Підготовчі роботи	459
11.3.2. Підготовка до прокладання кабелю	459
11.3.3. Випробування кабелів	460
11.3.4. Особливості прокладання кабельних ліній	461
11.3.5. Групування будівельних довжин	462
11.3.6. Монтажно-підготовчі роботи	462
11.3.7. Розбивка траси	462
11.3.8. Монтажні роботи	463
11.3.9. Прокладання кабелів по стінах будівель	464
11.3.10. Прохід для кабелю крізь стіни і перекриття	465
11.3.11. Прокладання кабелів у каналах прихованої проводки	466
11.3.12. Типи прокладання кабелів	466
11.4. Розрахунок надійності проєктованої кабельної лінії	468
11.5. Визначення місця пошкоджень та однорідностей	468
11.5.1. Характер та види пошкоджень	469
11.5.2. Методи визначення характеру та місця пошкодження	473
11.5.2.1. Мостовий метод вимірювань	473
11.5.2.2. Вимірювання електричної ємності	474
11.5.2.3. Вимірювання ємнісних зв'язків й асиметрії за допомогою комплекту IEA	475
11.5.2.4. Кабелешукач	476
11.5.2.5. Високовольтний міст	476
11.5.2.6. Імпульсний метод	477
11.6. Охорона праці і навколишнього середовища	480
Список літератури	482