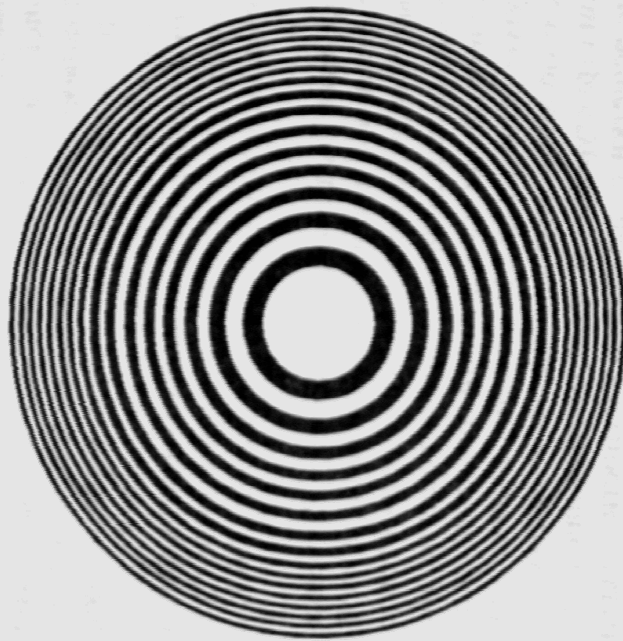


В. Г. КОЛОБРОДОВ, Г.С. ТИМЧИК

ДИФРАКЦІЙНА ТЕОРІЯ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ



НТУУ «КПІ»
Київ – 2011

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

В.Г.Колобродов, Г.С. Тимчик

ДИФРАКЦІЙНА ТЕОРІЯ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ

Підручник

*Затвердженоно Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів,
які навчаються за напрямом підготовки "Опtotехніка"*

Київ
НТУУ «КПІ»
2011

УДК 5681.758(075.8)
ББК 22.343.4я73
К 61

*Гриф надано Міністерством освіти і науки України
(Лист №1/11-10713 від 23.11.2010 р.)*

Рецензенти:

*О.В. Ангельський, д-р фіз.-мат. наук, проф.
Чернівецький національний університет імені Федьковича
Л.В. Поперенко, д-р фіз.-мат. наук, проф.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
А.П. Поліщук, д-р фіз.-мат. наук, проф.
Національний авіаційний університет України*

Колобродов В.Г.

К61 Дифракційна теорія оптичних систем: Підручник /
В.Г. Колобродов, Г.С. Тимчик. – К.: НТУУ „КПІ”, 2011. – 140с.-300 пр.
ISBN 978-966-622-415-9

Викладено теоретичні основи дифракційного аналізу когерентних і некогерентних оптичних систем обробки інформації. Подано на основі рівнянь Максвелла властивості оптичного випромінювання, основи скалярної теорії дифракції, дифракційний аналіз оптичних систем і просторово-частотний аналіз дифракційно обмежених оптичних систем. Практичне застосування скалярної теорії дифракції знайшло відображення в представлених методах розрахунку параметрів світлового поля, яке формує когерентна або некогерентна система. Для практичного засвоєння матеріалу значну увагу приділено розв'язанню прикладів, що виникають при дослідженні перетворення електромагнітного поля в оптичних системах.

Для магістрів за напрямом оптотехніка за спеціальностями оптичні прилади і системи, фотоніка, лазерна та оптоелектронна техніка. Може бути корисним розробникам оптичних систем різного призначення.

ISBN 978-966-622-415-9

УДК 5681.758(075.8)
ББК 22.343.4я73
© В.Г. Колобродов
Г.С. Тимчик, 2011

ЗМІСТ

Зміст.....	3
Скорочення.....	6
Вступ.....	7
Розділ 1. Основи електромагнітної теорії поля	9
1.1. Рівняння Максвелла	9
1.2. Хвильове рівняння	11
1.3. Плоскі і сферичні гармонічні хвилі	12
1.4. Скалярні гармонічні хвилі. Рівняння Гельмгольца.....	15
1.5. Рівняння ейконалу і переносу.....	16
1.6. Кутовий спектр плоских хвиль.....	17
1.7. Приклади розрахунку параметрів електромагнітного поля.....	19
1.8. Задачі для самостійного розв'язання.....	26
Розділ 2. Основи скалярної теорії дифракції.....	29
2.1. Загальні положення теорії дифракції.....	29
2.2. Принцип Гюйгенса-Френеля.....	30
2.3. Зонна пластинка Френеля.....	35
2.4. Теорія дифракції Кірхгофа.....	38
2.4.1. Інтегральна теорема Гельмгольца-Кірхгофа.....	38
2.4.2. Дифракція на плоскому екрані.....	40
2.5. Дифракція Френеля.....	43
2.6. Дифракція Фраунгофера.....	46
2.7. Приклади розрахунку дифракції Фраунгофера.....	47
2.7.1 Прямокутний отвір.....	47
2.7.2 Круглий отвір.....	50
2.7.3 Синусоїдальна амплітудна решітка.....	53
2.8. Дифракції Френеля на прямокутному отворі.....	57
2.9. Приклади розрахунку дифракційних картин.....	59

2.10. Задачі для самостійного розв'язання.....	68
Розділ 3. Дифракційний аналіз оптичних систем	77
3.1. Тонка лінза як елемент, що виконує фазове перетворення.....	77
3.2. Тонка лінза як елемент, що виконує перетворення Фур'є.....	82
3.2.1. Розповсюдження монохроматичного випромінювання через оптичну систему.....	82
3.2.2. Розподіл світлового поля в плоскості аналізу, коли транспарант розташований перед лінзою.....	85
3.2.3. Розподіл світлового поля в плоскості аналізу, коли транспарант розташований за лінзою	89
3.3. Дифракційна теорія формування зображення тонкою додатною лінзою.....	92
3.3.1. Функція розсіювання тонкої додатної лінзи.....	92
3.3.2. Функція розсіювання додатної лінзи в площині геометричного зображення.....	95
3.3.3. Зв'язок між амплітудою поля в площині зображення і площині предмета.....	97
3.4. Приклади розрахунку розподілу світлового поля в оптичних системах.....	99
3.5. Задачі для самостійного розв'язання.....	107
Розділ 4. Частотний аналіз дифракційно-обмежених оптичних систем.....	113
4.1. Узагальнена модель оптичної системи, яка формує зображення ..	113
4.2. Когерентні і некогерентні оптичні системи	115
4.2.1. Когерентне випромінювання	116
4.2.2. Вимірювання степені когерентності випромінювання	119
4.2.3. Некогерентне випромінювання.....	122
4.3. Дифракційно-обмежена когерентна оптична система.....	122

4.4.	Дифракційно-обмежена некогерентна оптична система	125
4.4.1.	Оптична передавальна функція і її основні властивості.....	126
4.4.2.	Зв'язок ОПФ з фізичними параметрами оптичної системи.....	127
4.5.	Приклади розрахунку передавальних функцій оптичних систем .	133
4.6.	Задачі для самостійного розв'язання... ..	138
Література.....		146

ВСТУП

Світло являє собою електромагнітні хвилі, довжина хвилі яких лежить в межах від 1 нм до 1 мм. Тому при проходженні світла через оптичні елементи його слід розглядати не як сукупність променів, а у вигляді хвильового фронту, який змінюється у просторі і часі. Розповсюдження електромагнітної хвилі розглядається з позиції дифракції світла. *Дифракція світла* у вузькому (найбільш вживаному) розумінні – явище обгинання променями світла контуру непрозорих тіл і, як наслідок, проникнення світла в область геометричної тіні. В широкому розумінні дифракція це прояв хвильових властивостей світла в умовах, близьких до умов застосування уявлень геометричної оптики [1]. На основі такого представлення світла розробляють нові методи розрахунку оптичних систем, а також методи проектування принципово нових засобів обробки інформації.

Перша елементарна кількісна теорія дифракції світла була розвинена французьким фізиком О. Френелем (1816), який пояснив її як результат інтерференції вторинних хвиль на основі принципу Гюйгенса-Френеля. Ідеї Френеля математично втілив німецький фізик Г. Кірхгоф (1882).

Головна перевага оптичних методів обробки інформації – швидкодія і простота реалізації. Обробка інформації в оптичних системах здійснюється із швидкістю світла і обмежена швидкодією пристроїв введення і виведення даних. В електронних пристроях, в тому числі і в комп'ютерах, обробка інформації здійснюється у вигляді зміни у часі електричної напруги або струму, тобто у вигляді одновимірної функції. В оптичних системах перетворюється амплітуда і фаза (для когерентних систем) або інтенсивність (для некогерентних систем) світлового поля, які змінюються у просторі і часі. Це означає, обробка інформації здійснюється у вигляді багатовимірних функцій. В зв'язку з цим потенційні можливості оптичних систем обробки інформації значно ширші за можливості електронних систем. Крім того, в

оптичних системах обробки інформації відносно просто реалізуються такі операції, як перетворення Фур'є, просторова фільтрація, ряд інтегральних перетворень (кореляція, згортка, перетворення Гільберта, Лапласа та інші).

При проходженні світла через елементи оптичної системи відбувається деформація хвильового фронту у часі і просторі. На основі аналізу цих деформацій можливо провести якісну і точну оцінку впливу різних факторів на процеси переносу інформації в оптичній або оптично-електронній системах. Також це дає можливість розробити принципово нові засоби обробки інформації і суттєво удосконалити безпосередньо оптичні елементи.

Теоретичним фундаментом оптичної обробки інформації є дифракційна теорія оптичних систем, яка складає головну частину цього підручника. Практичне застосування дифракції світла відображено у розробці методів розрахунку параметрів світлового поля, яке формує когерентна або некогерентна система.

Підручник написано на основі курсу лекцій «Дифракційна теорія оптичних систем», який викладається в Національному технічному університеті України «КПІ» для магістрів напрямку «Оптехніка» із спеціальності «Лазерна та оптоелектронна техніка».

Підручник складається із чотирьох розділів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Физический энциклопедический словарь* / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. Энциклопедия, 1984. – 944 с.
2. *Борн М., Вольф Э. Основы оптики.* – М.: Наука, 1973. – 720 с.
3. *Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами:* Под ред. М. Абрамовица и И. Стинга // Пер. с англ. – М., Наука, 1979. – 832 с.
4. *Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И.* Интегралы и ряды. – М.: Наука, 1981. – 800 с.
5. *Двайт Г. Б.* Таблица интегралов. – М.: Наука, 1973. – 228 с.
6. *Прудников А. П., Брычков Ю. А., Маричев О. И.* Интегралы и ряды. Элементарные функции. – М.: Наука, 1981. – 798 с.
7. *Бегунов Б. Н., Заказнов Н. П., Кирюшин С. И., Кузичев В. И.* Теория оптических систем. – М.: Машиностроение, 1981. – 432 с.
8. *Колобродов В.Г., Лихоліт М.І.* Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження: Підручник – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 364 с.