

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРА ВАНДЕР ЛЮГТА**

Методические указания к лабораторной работе по курсам  
«Оптические методы обработки информации» и «Акустооптические  
методы обработки информации»  
для студентов направлений 210100 «Электроника и  
наноэлектроника» и 200700 «Фотоника и оптоинформатика»

## **Башкиров Александр Иванович**

Исследование фильтра Вандер Люгта: методические указания к лабораторной работе по курсам «Оптические методы обработки информации» и «Акустооптические методы обработки информации» для студентов направлений «Электроника и наноэлектроника» и «Фотоника и оптоинформатика» / А.И. Башкиров; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2014. - 9 с.

Целью настоящей работы является изучение методики создания пространственных фильтров; исследование пространственных фильтров, получаемых по методу Вандер Люгта.

В ходе выполнения работы у студентов направления 210100 формируются:

- способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-10);

- готовность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ПК-3);

- способность владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных (ПК-5).

В ходе выполнения работы у студентов направления 200700 формируются:

- способность владеть методикой разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере (ПК-12);

- способность применить навыки компьютерного моделирования информационных сигналов и систем, синтеза кодов, количественного анализа характеристик информационных систем, приемы практического решения задач выбора и оценки эффективности различных архитектурных и структурных решений с точки зрения производительности, надежности и стоимости вычислительных систем, приемы организации различных видов памяти, оптимизации использования ресурсов памяти вычислительных систем, практические навыки по выбору и оптимизации вычислительных ресурсов (ПК-17);

- способность разрабатывать элементы и устройства фотоники и оптоинформатики на основе существующей элементной базы (ПК-20).

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлениям «Электроника и наноэлектроника» и «Фотоника и оптоинформатика», по дисциплинам «Оптические методы обработки информации» и «Акустооптические методы обработки информации»

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ  
Зав.кафедрой ЭП  
\_\_\_\_\_С.М. Шандаров  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРА ВАНДЕР ЛЮГТА**

Методические указания к лабораторной работе по курсам  
«Оптические методы обработки информации» и «Акустооптические методы  
обработки информации»  
для студентов направлений 210100 «Электроника и наноэлектроника» и  
200700 «Фотоника и оптоинформатика»

Разработчик

канд. физ.-мат. наук, доц. каф. ЭП  
\_\_\_\_\_А.И. Башкиров  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

## Содержание

1 Введение.....	3
2 Теоретическая часть.....	3
3 Экспериментальная часть.....	3
3.1 Задание на работу.....	3
3.2 Методические указания по выполнению работы .....	4
3.3 Содержание отчета.....	8
4 Рекомендуемая литература .....	8

## **1 Введение**

Целью настоящей работы является

- 1) изучение методики создания пространственных фильтров;
- 2) исследование пространственных фильтров, получаемых по методу Вандер Люгта.

## **2 Теоретическая часть**

Теория пространственной фильтрации применима в различных областях и рассмотрена, в том числе, в учебной и методической литературе. В данном пособии использованы материалы, касающиеся создания и анализа фильтров Вандер Люгта, изложенные в [1, 2].

В 1963 году Вандер Люгт, сотрудник Мичиганского университета, продемонстрировал новый метод синтезирования масок в плоскости частот когерентных систем. Маски, полученные этим методом, обладают особым свойством: они позволяют регулировать как амплитуду, так и фазу передаточной функции, несмотря на то, что состоят исключительно из поглощающих элементов.

### **2.1 Контрольные вопросы**

1. В чем заключается явление пространственной фильтрации в частотной области?
2. Нарисуйте схему, демонстрирующую синтез фильтра Вандер Люгта. Объясните принцип ее работы.
3. Нарисуйте схему, демонстрирующую синтез фильтра Вандер Люгта с помощью интерферометра Маха - Цендера. Объясните принцип ее работы.
4. Перечислите преимущества фильтра Вандер Люгта.

## **3 Экспериментальная часть**

### **3.1 Задание на работу**

1. Изучить настоящее методическое пособие.
2. Согласовать с преподавателем амплитудную функцию пропускания транспаранта для расчета фильтра Вандер Люгта.
3. Рассчитать амплитудную функцию пропускания фильтра Вандер Люгта. Для расчета можно использовать различные доступные пакеты вычислительных программ.
4. Результаты расчета представить в виде поверхностных графиков.

### 3.2 Методические указания по выполнению работы

#### Синтез маски в частотной плоскости

Частотная маска для фильтра Вандер Люгта синтезируется с помощью интерферометрической системы, показанной на рис. 3.1. Линза  $L_1$  коллимирует свет от точечного источника  $S$ . Часть этого света падает на маску  $P_1$ , амплитудный коэффициент пропускания которой соответствует распределению амплитуды требуемого импульсного отклика  $h$ . Линза  $L_2$  осуществляет фурье-преобразование распределения амплитуды  $h$ , давая на пленке распределение амплитуды  $(1/\lambda f)H(x_2/\lambda f, y_2/\lambda f)$ . Другая часть коллимированного света проходит над маской  $P_1$ , отклоняется призмой  $P$  и попадает на пленку под углом  $\theta$ , как показано на рис. 3.1.

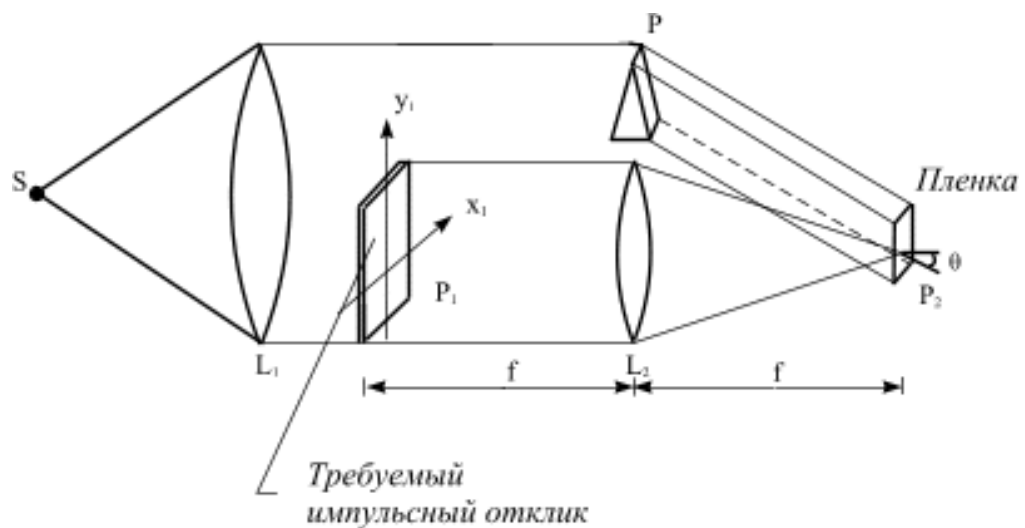


Рисунок 3.1 – Запись частотной маски для фильтра Вандер Люгта

Суммарная интенсивность в каждой точке пленки определяется интерференцией двух пучков света, каждый из которых характеризуется своим распределением амплитуд. Наклонная плоская волна, выходящая из призмы, дает на пленке распределение поля

$$U_r(x_2, y_2) = r_0 e^{-j2\pi \cdot \alpha \cdot y_2}, \quad (3.1)$$

где пространственная частота определяется выражением

$$\alpha = \frac{\sin \theta}{\lambda}. \quad (3.2)$$

Суммарное распределение интенсивности можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned}
 J(x_2, y_2) &= \left| r_0 \exp(-j2\pi\alpha y_2) + \frac{1}{\lambda f} H\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right) \right|^2 = \\
 &= r_0^2 + \frac{1}{\lambda^2 f^2} \left| H\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right) \right|^2 + \frac{r_0}{\lambda f} H\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right) \times \\
 &\times \exp(j2\pi\alpha y_2) + \frac{r_0}{\lambda f} H^*\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right) \exp(-j2\pi\lambda y_2)
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

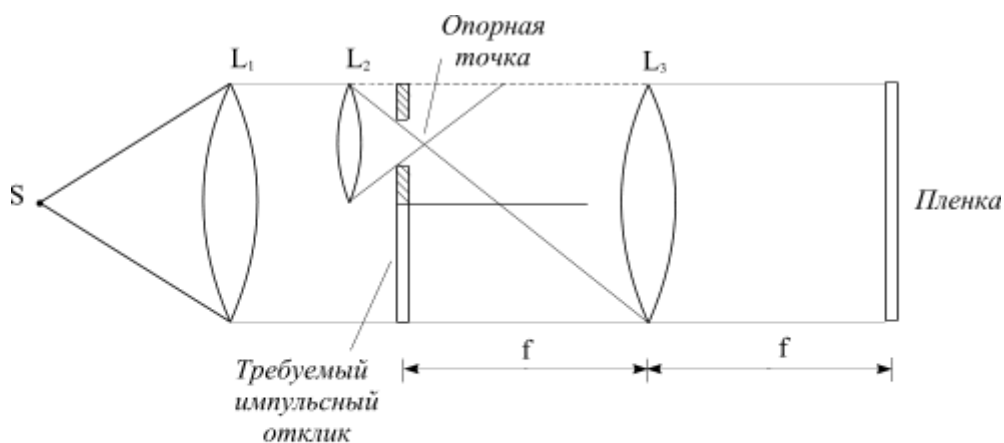
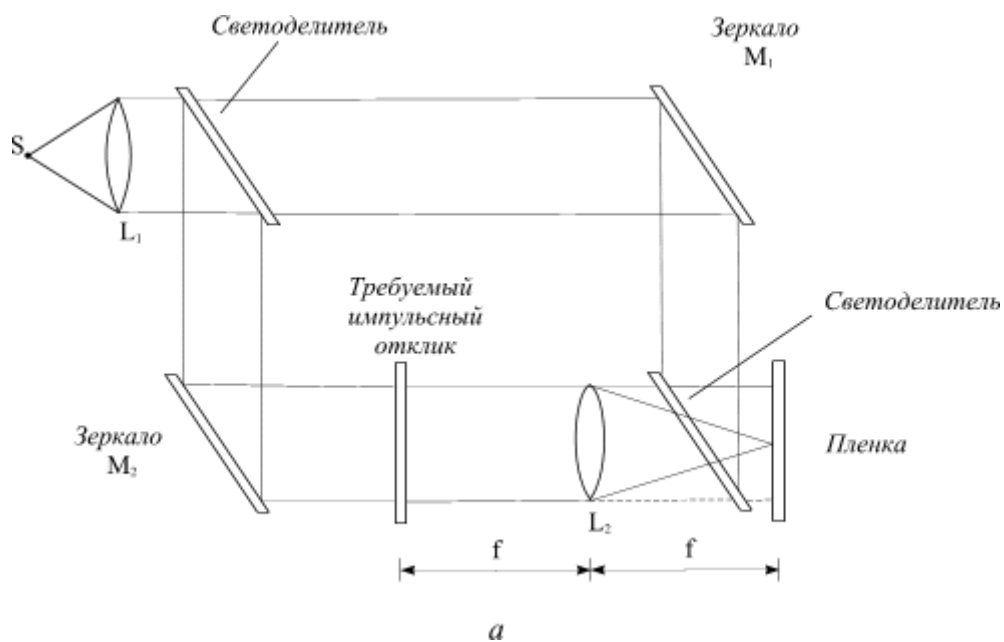
Заметим, что если комплексная функция  $H$  характеризуется распределением амплитуды  $A$  и распределением фазы  $\psi$ , то есть если

$$H\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right) = A\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right) \exp\left[-j\psi\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right)\right],$$

то выражение для  $J$  можно записать в виде

$$\begin{aligned}
 J(x_2, y_2) &= r_0^2 + \frac{1}{\lambda^2 f^2} A^2\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right) + \\
 &+ \frac{2r_0}{\lambda f} A\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right) \cos\left[2\pi\lambda y_2 - \psi\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right)\right]
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

При такой записи видно, каким образом с помощью интерферометрического процесса комплексная функция  $H$  записывается на детектор, чувствительный к интенсивности: амплитудная и фазовая информация записывается соответственно как амплитудная и фазовая модуляция высокочастотной несущей, которой является наклонная опорная волна, выходящая из призмы.



б

Рисунок 3. 2 – Различные схемы записи частотных масок  
 а – видоизмененный интерферометр Маха-Цендера  
 б – видоизмененный интерферометр Рэлея

Существуют и другие оптические системы, которые могут дать распределение интенсивности, описываемое соотношением (3.4). На рис. 3.2 показаны два возможных варианта. Система, показанная на рис. 3.2 (а), есть видоизмененный интерферометр Маха-Цендера. Если наклонить зеркало  $M_1$ , то в плоскости пленки будет проходить наклонная плоская волна. В нижнем плече интерферометра линза  $L_2$  осуществляет фурье-преобразование требуемого импульсного отклика. В итоге светоделитель позволяет получать в плоскости пленки сумму этих двух волн.

Система, показанная на рис. 3.2 (б), представляющая собой видоизмененный интерферометр Рэлея, позволяет осуществить третий способ получения того же распределения. За коллимирующей линзой  $L_1$  стоит меньшая по размерам линза  $L_2$ , фокусирующая часть



коллимированного света в яркое пятно в передней фокальной плоскости линзы  $L_3$ . Сферическая волна, исходящая из этой точки, коллимируется линзой  $L_3$  и дает в плоскости пленки наклонную плоскую волну. Маска, соответствующая импульсному отклику, осуществляет фурье-преобразование амплитуды прошедшей через нее волны. Следовательно, в плоскости пленки получается распределение интенсивности, аналогичное распределению (3.4).

На последней стадии синтеза частотной маски экспонированная пленка проявляется таким образом, чтобы получился диапозитив с амплитудным коэффициентом пропускания, пропорциональным распределению интенсивности света при экспозиции. Следовательно,

$$t(x_2, y_2) \sim r_0^2 + \frac{1}{\lambda^2 f^2} |H|^2 + \frac{r_0}{\lambda f} H \exp(j2\pi\alpha y_2) + \frac{r_0}{\lambda f} H^* \exp(-j2\pi\alpha y_2) \quad (3.5)$$

Отметим, что если не учитывать комплексный экспоненциальный множитель, то третий член в выражении для коэффициента пропускания пропорционален  $H$  и в точности удовлетворяет требованиям, предъявляемым к коэффициенту пропускания, необходимому для синтеза фильтра с импульсным откликом  $h$ .

### Преимущества фильтра Вандер Люгта

Использование фильтра Вандер Люгта устраняет два серьезных недостатка обычных схем когерентной оптики. Во-первых, если нужно получить импульсный отклик заданного вида, то не нужна математически сложная и трудоемкая операция по нахождению требуемой передаточной функции; система, в которой синтезируется маска для частотной плоскости, осуществляет оптическим путем фурье-преобразование импульсного отклика. Во-вторых, комплексная передаточная функция общего вида синтезируется с помощью одной поглощающей маски; в этом случае нет необходимости сложным образом влиять на изменение фазы при прохождении волны через частотную плоскость. Чтобы устранить все фазовые сдвиги, поглощающая маска просто помещается в жидкостный компенсатор.

Фильтр Вандер Люгта также очень чувствителен к точности установки маски в частотной плоскости, но не более чувствителен, чем обычные системы когерентной обработки. Для записи модулированной высокочастотной несущей необходима эмульсия с более высоким разрешением, чем для обычного синтеза маски, но выполнение этого требования не вызывает особых трудностей.

Метод Вандер Люгта открывает новые возможности для когерентной обработки. Если основной практической проблемой был синтез маски в плоскости частот, то в методе Вандер Люгта трудности опять сосредоточены в пространстве координат. Но в пространстве координат трудности гораздо проще решаются, поскольку требуемые импульсные отклики часто имеют простую форму, так что необходимые маски можно изготовить обычными фотографическими методами.

### **3.3 Содержание отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) цель работы;
- 3) схему эксперимента;
- 4) результаты эксперимента и их анализ;
- 5) ответы на контрольные вопросы;
- 6) выводы;
- 7) список использованной литературы.

### **4 Рекомендуемая литература**

1. Гудмен Д. Введение в Фурье-оптику. – М.: Мир, 1970. – 364с.
2. Акаев А.А., Майоров С.А. Оптические методы обработки информации. – М.: Высшая школа, 1988. - 237 с.

Учебное пособие

Башкиров А.И.

Исследование фильтра Вандер Люгта

Методические указания к лабораторной работе  
для студентов направлений «Электроника и наноэлектроника», «Электроника  
и микроэлектроника», «Фотоника и оптоинформатика»

Усл. печ. л.                      Препринт  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40