

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

С.Н. Шارانгович

Оптические системы обработки информации

Учебно-методическое пособие по практическим занятиям и самостоятельной работе для
студентов технических вузов

Томск
2022

УДК 621.396.22.0297 [621.315.2:621.39]

Рецензент:
проф. СВЧ и КР, д.ф.-м.н.

А.Е. Мандель

Оптические системы обработки информации. Учебно-методическое пособие по практическим занятиям и самостоятельной работе // С.Н. Шарангович.. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022. – 22 с.

Данное учебно-методическое пособие является частью учебно-методического комплекса и предназначено для подготовки к практическим занятиям и самостоятельной работе студентов по дисциплине «Оптические системы обработки информации». В пособии содержится необходимый материал для выполнения расчетных заданий, темы практик, контрольные работы, а также темы рефератов. Пособие содержит описание четырех индивидуальных расчетных заданий. Предназначено для студентов технических вузов всех форм обучения.

© Шарангович С.Н., 2022
© Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2022.

Оглавление

Введение.....	4
1 РАСЧЕТНОЕ ЗАДАНИЕ № 1	7
2 РАСЧЕТНОЕ ЗАДАНИЕ № 2	10
3 РАСЧЕТНОЕ ЗАДАНИЕ № 3	13
4 РАСЧЕТНОЕ ЗАДАНИЕ № 4	16
5 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ.....	17
6 ТЕМЫ ТВОРЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ (РЕФЕРАТОВ).....	18
7 КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ.....	19

Введение

Самостоятельная работа студентов является неотъемлемой частью учебного процесса в подготовке квалифицированных специалистов, способных самостоятельно и творчески решать стоящие перед ними задачи.

Самостоятельная работа – один из способов активного, целенаправленного приобретения студентом профессиональных знаний и навыков. Важное значение имеет самостоятельная работа для студентов заочного и вечернего, дистанционного обучения. Важнейшие социально-профессиональные навыки будущего специалиста, наилучшим образом, формируются в ходе самостоятельной работы. Самостоятельная работа студентов определяется требованиями и рабочей программой по дисциплине «Оптические системы обработки информации», утвержденной в ТУСУРе, содержанием учебников, учебных пособий и методических руководств.

Преподаватель знакомит студентов с рабочей программой курса, списком литературы, методикой работы над литературой, порядком и методикой составления конспектов лекций, методикой проведения практических занятий, написанием тезисов, докладов и рефератов, составлением презентаций. Профессиональный подход к подготовке специалистов предусматривает эффективное взаимодействие ТУСУРа с работодателями и профессионалами. Кафедра организует консультации, приглашает студентов на обсуждение рефератов, в которых освещаются проблемные материалы, на выставки рекомендованной литературы, пропагандирует наглядные пособия, стенды, видеофильмы. В пользование студентам представляются библиографические списки, в том числе в электронном виде, отечественные и зарубежные.

К видам самостоятельной работы относятся:

- систематическое чтение и конспектирование литературы;
- выполнение индивидуальных расчетных заданий;
- подготовка к семинарским, практическим занятиям;
- подготовка к лабораторным занятиям;
- углубленное самостоятельное изучение основных вопросов учебной программы;
- написание рефератов по разделам курса;

- представление презентаций по вопросам курса, недостаточно освещенным в учебных пособиях;
- обработка и анализ экспериментальных данных, полученных во время экспериментов и наблюдений при выполнении НИР и ГПО;

Преподаватель знакомит студентов с рабочей программой курса, списком литературы, методикой работы над литературой, порядком и методикой составления конспектов лекций, практических занятий, написанием тезисов, докладов и рефератов, составлением презентаций.

Компетентностный подход к подготовке специалистов предусматривает эффективное взаимодействие ТУСУРа с работодателями и профессионалами.

Кафедра организует консультации, приглашает студентов на обсуждение рефератов, в которых освещаются проблемные материалы, на выставки рекомендованной литературы, пропагандирует наглядные пособия, стенды, видеофильмы. В пользование студентам представляется библиографические списки, в том числе в электронном виде, отечественные и зарубежные.

Мероприятия, создающие предпосылки и условия для реализации самостоятельной работы:

- обеспечение информационными ресурсами (справочники, учебные пособия, банки индивидуальных заданий, пакеты прикладных программ по проверке знаний);
- методические материалы (указания по выполнению лабораторных работ, руководства, практикумы, сборники задач);
- контролирующие материалы (тесты);
- материальные ресурсы (ПК, измерительное и технологическое оборудование);
- консультации преподавателей;
- возможность публичного обсуждения теоретических и/или практических результатов, полученных студентом самостоятельно (конференции, олимпиады, конкурсы);

Контролируемая самостоятельная работа направлена на углубление и закрепление знаний студентов, развитие аналитических навыков по проблематике курса.

Пособие разработано в соответствии с временными рекомендациями по организации самостоятельной работы студентов (письмо Минобразования РФ от 27.11.2002 "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений").

Индивидуальное расчетное задание – это форма проверки знаний по отдельным вопросам курса, своего рода контрольная работа. В данном разделе мы имеем в виду те контрольные работы, которые даются студентам как домашние задания.

При написании контрольной работы удобнее всего пользоваться рекомендованными преподавателем учебниками и конспектами лекций, так как вопросы контрольной составляются на основе стандартной программы курса обучения.

Индивидуальное задание еще не предполагает навыков исследовательского умения, ответы на вопросы должны демонстрировать достаточно хорошее знание и понимание существа рассматриваемых вопросов. Задание дает возможность оценить порядок и уяснить физический смысл процессов, происходящих в оптических процессорах.

1 РАСЧЕТНОЕ ЗАДАНИЕ № 1

Интегральные преобразования оптических сигналов

Дано: Оптический сигнал записан на оптический транспарант с функцией пропускания $T_1(x)$,

$$T_1(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq D/2, \\ 1 & \text{при } x > D/2, \end{cases}$$

где $D=1$ см – апертура транспаранта, в схеме оптического процессора, осуществляющего преобразование Фурье на длине волны $\lambda=0,63$ мкм и имеющего линзу с фокусным расстоянием $F=10$ см.

Определить:

1. Спектр пространственных частот оптического сигнала;
2. Энергию, сосредоточенную в основном лепестке и боковых лепестках спектра оптического сигнала;
3. Представить схему оптического процессора, графики исходного сигнала и его спектра.

Варианты заданий представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Варианты на 1-е расчетное задание

№	Функция пропускания оптического транспаранта $T_1(x)$	Апертура D , мм	Длина волны λ , мкм	Фокусное расстояние F , мм
1.	Прямоугольная – $T_1(x) = 1 \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	10	0,63	30
2.	Линейная – $T_1(x) = \frac{x}{D} \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	15	0,63	35
3.	Квадратичная – $T_1(x) = (x/D)^2 \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	20	0,63	40
4.	Квазиквадратичная – $T_1(x) = \frac{1}{1+(x/D)^2} \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	5	0,63	30

5.	Экспоненциальная – $T_1(x) = e^{-\alpha x } \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	10	0,63	45
6.	Квазиэкспоненциальная – $T_1(x) = (1 - e^{-\alpha x }) \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	15	0,63	50
7.	Линейно-экспоненциальная – $T_1(x) = \frac{x}{D} e^{-\alpha x } \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	20	0,63	55
8.	Гауссова – $T_1(x) = e^{-(x/D)^2} \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	10	0,63	60
9.	Квазигауссова – $T_1(x) = (1 - e^{-(x/D)^2}) \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	15	0,63	30
10.	Синусоидальная – $T_1(x) = \sin(\beta x) \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	20	0,63	55
11.	Косинусоидальная – $T_1(x) = \cos(\beta x) \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	10	0,63	40
12.	Косинус-квадратная – $T_1(x) = \cos^2(\beta x) \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	12	0,63	80
13.	Взвешенная синусоидальная – $T_1(x) = (1 - \sin(\beta x)) \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	15	0,63	45
14.	Взвешенная косинусоидальная – $T_1(x) = (1 - \cos(\beta x)) \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	2,0	0,63	50
15.	Фазовая синусоидальная – $T_1(x) = \exp[i \cdot \sin(\beta x)] \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	1,0	0,63	55
16.	Фазовая косинусоидальная – $T_1(x) = \exp[i \cdot \cos(\beta x)] \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq D/2, \\ 0 & \text{при } x > D/2. \end{cases}$	15	0,63	60

17.	Треугольная – $T_1(x) = 1 \cdot \begin{cases} \left(1 + \frac{x}{D}\right) \text{ при } -\frac{D}{2} \leq x \leq 0, \\ \left(1 - \frac{x}{D}\right) \text{ при } 0 \leq x \leq -\frac{D}{2}, \\ 0 \text{ при } x > -\frac{D}{2}. \end{cases}$	20	0,63	80
18.	Трапециевидная – $T_1(x) = 1 \cdot \begin{cases} \left(\frac{\gamma D}{2} + x\right) \left(\frac{1}{\mu D}\right) \text{ при } -\frac{\gamma D}{2} \leq x \leq -\frac{\gamma D}{2} + \mu D, \\ 1 \text{ при } -\frac{\gamma D}{2} + \mu D \leq x \leq \frac{\gamma D}{2} - \mu D, \\ \left(\frac{\gamma D}{2} - x\right) \left(\frac{1}{\mu D}\right) \text{ при } \frac{\gamma D}{2} - \mu D \leq x \leq \frac{\gamma D}{2}, \\ 0 \text{ при } x > -\frac{\gamma D}{2}. \end{cases}$	10	0,63	35
19.	Линейно-фазовая – $T_1(x) = \exp[i \cdot (\beta x)] \cdot \begin{cases} 1 \text{ при } x \leq D/2, \\ 0 \text{ при } x > D/2. \end{cases}$	10	0,63	45
20.	Квадратично-фазовая – $T_1(x) = \exp[i \cdot (\beta x^2)] \cdot \begin{cases} 1 \text{ при } x \leq D/2, \\ 0 \text{ при } x > D/2. \end{cases}$	15	0,63	40
21.	Импульсно-фазовая – $T_1(x) = \exp[i \cdot (m\pi)], m = \begin{cases} 1 \text{ при } \frac{3D}{8} \leq x \leq \frac{D}{2}, \\ -1 \text{ при } \frac{D}{8} \leq x \leq \frac{D}{4}, \\ 0 \text{ при другом } x. \end{cases}$	20	0,63	45
22.	Колоколообразная – $T_1(x) = \frac{1}{\cosh(\alpha x)} \exp[i \cdot (\beta x^2)] \cdot \begin{cases} 1 \text{ при } x \leq D/2, \\ 0 \text{ при } x > D/2. \end{cases}$	10	0,63	30
23.	Взвешено-синусоидальная – $T_1(x) = \sin(\beta x) \cdot \begin{cases} 1 \text{ при } x \leq D/2, \\ 0 \text{ при } x > D/2. \end{cases}$	15	0,63	35
24.	Взвешено-косинусоидальная – $T_1(x) = \cos(\beta x) \cdot \begin{cases} 1 \text{ при } x \leq D/2, \\ 0 \text{ при } x > D/2. \end{cases}$	20	0,63	40
25.	Кубичная – $T_1(x) = (x/D)^3 / 2 \cdot \begin{cases} 1 \text{ при } x \leq D/2, \\ 0 \text{ при } x > D/2. \end{cases}$	10	0,63	30
26.	Фазовая линейная – $T_1(x) = \exp[i \cdot (\beta x)] \cdot \begin{cases} 1 \text{ при } x \leq D/2, \\ 0 \text{ при } x > D/2. \end{cases}$	15	0,63	35

Примечание: параметры α, β, γ – задаются преподавателем.

2 РАСЧЕТНОЕ ЗАДАНИЕ № 2

Фильтрация оптических сигналов

Дано: Оптический сигнал задан функцией пропускания $T_1(x)$ оптического транспаранта согласно номеру варианта в таблице 1.

Задание:

1. Синтезировать оптический фильтр по критерию заданному в таблице 2.
2. Определить передаточную характеристику и геометрические размеры фильтра.
3. Произвести восстановление формы отфильтрованного сигнала.
4. Представить схему оптического процессора, осуществляющего фильтрацию оптического сигнала, графики исходного и отфильтрованного сигналов, спектральную характеристику фильтра и спектра сигнала на его выходе.

Варианты заданий представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Варианты на 2-е расчетное задание

№	Функция пропускания оптического фильтра $T_2(\omega_x)$ и критерий фильтрации	Апертура D , мм	Тип фильтра	Фокусное расстояние F_2 , мм
1.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } \omega_x \leq \omega_{x1}, \\ 0 & \text{при } \omega_x > \omega_{x1}, \end{cases}$ ω_{x1} – частота среза 0-го лепестка спектра	50	ФНЧ	30
2.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } \omega_x \leq \omega_{x1}, \\ 0 & \text{при } \omega_x > \omega_{x1}, \end{cases}$ ω_{x1} – частота среза +1-го лепестка спектра	100	ФВЧ	35
3.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } \omega_{x1} \leq \omega_x \leq \omega_{x2}, \\ 0 & \text{при других } \omega_x, \end{cases}$ ω_{x1}, ω_{x2} – частоты среза +1-го лепестка спектра	100	ППФ	40
4.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 0 & \text{при } \omega_{x1} \leq \omega_x \leq \omega_{x2}, \\ 1 & \text{при других } \omega_x, \end{cases}$ ω_{x1}, ω_{x2} – частоты среза, в пределах которых содержится 90% энергии 0-го лепестка спектра	80	ПЗФ	60
5.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 0 & \text{при } \omega_{x1} \leq \omega_x \leq \omega_{x2}, \\ 0 & \text{при } \omega_{x3} \leq \omega_x \leq \omega_{x4}, \\ 1 & \text{при других } \omega_x, \end{cases}$ $\omega_{x1} - \omega_{x4}$ – частоты среза ± 1 -х лепестков спектра по уровню 90% энергии	100	ГФ	45

6.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } \omega_x \leq \omega_{x1}, \\ 0 & \text{при } \omega_x > \omega_{x1}, \end{cases}$ <p>В пределах частот $\pm\omega_{x1}$ должно содержаться 90% энергии сигнала</p>	50	ФНЧ	50
7.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 0 & \text{при } \omega_x \leq \omega_{x1}, \\ 1 & \text{при } \omega_x > \omega_{x1}, \end{cases}$ <p>Вне полосы частот $\pm\omega_{x1}$ должно содержаться 10% энергии сигнала</p>	100	ФВЧ	55
8.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } \omega_{x1} \leq \omega_x \leq \omega_{x2}, \\ 0 & \text{при других } \omega_x, \end{cases}$ <p>ω_{x1}, ω_{x2} – частоты среза +2-го лепестка спектра</p>	100	ПФ	60
9.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 0 & \text{при } \omega_{x1} \leq \omega_x \leq \omega_{x2}, \\ 1 & \text{при других } \omega_x, \end{cases}$ <p>ω_{x1}, ω_{x2} – частоты среза, в пределах которых содержится 95% энергии спектра</p>	80	ЗФ	30
10.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 0 & \text{при } \omega_{x1} \leq \omega_x \leq \omega_{x2}, \\ 0 & \text{при } \omega_{x3} \leq \omega_x \leq \omega_{x4}, \\ 1 & \text{при других } \omega_x, \end{cases}$ <p>$\omega_{x1} - \omega_{x4}$ – частоты среза ± 2-х лепестков спектра</p>	100	ГФ	35
11.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } \omega_x \leq \omega_{x1}, \\ 0 & \text{при } \omega_x > \omega_{x1}, \end{cases}$ <p>В пределах частот $\pm\omega_{x1}$ должно содержаться 80% энергии сигнала</p>	50	ФНЧ	40
12.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 0 & \text{при } \omega_x \leq \omega_{x1}, \\ 1 & \text{при } \omega_x > \omega_{x1}, \end{cases}$ <p>Вне полосы частот $\pm\omega_{x1}$ должно содержаться 20% энергии сигнала</p>	100	ФВЧ	80
13.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } \omega_{x1} \leq \omega_x \leq \omega_{x2}, \\ 0 & \text{при других } \omega_x, \end{cases}$ <p>ω_{x1}, ω_{x2} – частоты среза 0-го лепестка спектра в пределах, которых содержится 50% энергии</p>	100	ПФ	45
14.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 0 & \text{при } \omega_{x1} \leq \omega_x \leq \omega_{x2}, \\ 0 & \text{при } \omega_{x3} \leq \omega_x \leq \omega_{x4}, \\ 1 & \text{при других } \omega_x, \end{cases}$ <p>$\omega_{x1} - \omega_{x4}$ – частоты среза ± 3-х лепестков спектра</p>	80	ЗФ	50
15.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 0 & \text{при } \omega_{x1n} \leq \omega_x \leq \omega_{x2n}, \\ 1 & \text{при других } \omega_x, \end{cases}$ <p>$\omega_{x1n}, \omega_{x2n}$ – частоты среза четных лепестков</p>	100	ГФ	55
16.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } \omega_x \leq \omega_{x1}, \\ 0 & \text{при } \omega_x > \omega_{x1}, \end{cases}$ <p>В пределах частот $\pm\omega_{x1}$ должно содержаться 10% энергии сигнала</p>	50	ФНЧ	60

17.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 0 & \text{при } \omega_x \leq \omega_{x1}, \\ 1 & \text{при } \omega_x > \omega_{x1}, \end{cases}$ Вне полосы частот $\pm\omega_{x1}$ должно содержаться 75% энергии сигнала	100	ФВЧ	30
18.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } \omega_{x1} \leq \omega_x \leq \omega_{x2}, \\ 0 & \text{при других } \omega_x, \end{cases}$ ω_{x1}, ω_{x2} – частоты среза 1-го лепестка спектра в пределах, которых содержится 90% энергии	100	ПФ	35
19.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 0 & \text{при } \omega_{x1} \leq \omega_x \leq \omega_{x2}, \\ 0 & \text{при } \omega_{x3} \leq \omega_x \leq \omega_{x4}, \\ 1 & \text{при других } \omega_x, \end{cases}$ $\omega_{x1} - \omega_{x4}$ – частоты среза ± 2 -х лепестков спектра	80	ЗФ	45
20.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 0 & \text{при } \omega_{x1n} \leq \omega_x \leq \omega_{x2n}, \\ 1 & \text{при других } \omega_x, \end{cases}$ $\omega_{x1n}, \omega_{x2n}$ – частоты среза нечетных лепестков	100	ГФ	40
21.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } \omega_x \leq \omega_{x1}, \\ 0 & \text{при } \omega_x > \omega_{x1}, \end{cases}$ В пределах частот $\pm\omega_{x1}$ должно содержаться 25% энергии сигнала	50	ФНЧ	45
22.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 0 & \text{при } \omega_{x1} \leq \omega_x \leq \omega_{x2}, \\ 0 & \text{при } \omega_{x3} \leq \omega_x \leq \omega_{x4}, \\ 1 & \text{при других } \omega_x, \end{cases}$ $\omega_{x1} - \omega_{x4}$ – частоты среза ± 3 -х лепестков спектра	70	ЗФ	40
23.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 0 & \text{при } \omega_{x1n} \leq \omega_x \leq \omega_{x2n}, \\ 1 & \text{при других } \omega_x, \end{cases}$ $\omega_{x1n}, \omega_{x2n}$ – частоты среза четных лепестков	90	ГФ	50
24.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 1 & \text{при } \omega_x \leq \omega_{x1}, \\ 0 & \text{при } \omega_x > \omega_{x1}, \end{cases}$ В пределах частот $\pm\omega_{x1}$ должно содержаться 10% энергии сигнала	60	ФНЧ	40
25.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 0 & \text{при } \omega_x \leq \omega_{x1}, \\ 1 & \text{при } \omega_x > \omega_{x1}, \end{cases}$ Вне полосы частот $\pm\omega_{x1}$ должно содержаться 75% энергии сигнала	80	ФВЧ	30
26.	$T_2(\omega_x) = 1 \cdot \begin{cases} 0 & \text{при } \omega_x \leq \omega_{x1}, \\ 1 & \text{при } \omega_x > \omega_{x1}, \end{cases}$ ω_{x1} – частота среза +1-го лепестка спектра	75	ФВЧ	40

Примечание: ФНЧ – фильтр нижних частот, ФВЧ – фильтр высоких частот, ППФ – полосно-пропускающий фильтр, ПЗФ – полосно-заграждающий фильтр, ГФ – гребенчатый фильтр, ФФ - фазовый фильтр, ω_{xn} – частота среза спектра сигнала задается преподавателем.

3 РАСЧЕТНОЕ ЗАДАНИЕ № 3

Акустооптическая ячейка как элемент ввода радиосигналов в оптический сигнальный процессор

Задача. Рассчитать одноканальный акустооптический модулятор в режиме дифракции Брэгга для заданных согласно варианту (см. таблица 3) значениях величин:

- центральная частота – $f_0 = \dots$;
- полоса акустооптической модуляции – $\Delta f = \dots$;
- длина волны светового пучка – $\lambda_0 = \dots$;
- ширина светового пучка – $D_{\text{вх}} = \dots$;
- выходная мощность генератора – $P = \dots$;

Материал пьезопреобразователя – ... :

- показатель преломления – $n = \dots$;
- скорость распространения акустической волны – $v = \dots$;

Материал светозвукопровода – ... :

- показатель преломления – $n = \dots$;
- скорость распространения акустической волны – $v = \dots$;

Необходимо рассчитать:

1. Геометрические размеры пьезопреобразователя (ПП) и светозвукопровода (СвЗвПр);
2. Электрические параметры: Электрическую входную мощность – $P_{\text{эл.вх}}$ и акустическую мощность, необходимую для отклонения светового пучка – $P_{\text{ак}}$;
3. Функциональные параметры: Ширину входного светового пучка, $D_{\text{вх}}$;
4. Оценить динамический диапазон и быстродействие АОМ.

Варианты заданий представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Варианты на 3-е расчетное задание

№	Материал пьезопреобразователя	Материал светозвукопровода	f_0 , МГц	Δf , МГц	δf	$\eta_{до}$
1.	Ниобат лития LiNbO_3	TeO_2 Парателлуриит	50	20	1	90
2.	Ниобат лития LiNbO_3	TeO_2 Парателлуриит	75	25	0.5	70
3.	SiO_2 кварц	TeO_2 Парателлуриит	100	30	2	20
4.	BaTiO_3 титонат бария	LiNbO_3 Ниобат лития	200	60	1	20
5.	PbMoO_4 молибдат свинца	LiNbO_3 Ниобат лития	300	120	0.5	30
6.	ZnO окись цинка	LiNbO_3 Ниобат лития	500	90	1	10
7.	Ниобат лития LiNbO_3	LiNbO_3 Ниобат лития	1000	20	3	20
8.	ZnO окись цинка	SiO_2 Кристал кварц	100	20	1	5
9.	ZnO окись цинка	SiO_2 Кристал кварц	200	30	0.5	8
10.	Ниобат лития LiNbO_3	SiO_2 Кристал кварц	250	40	2	10
11.	Ниобат лития LiNbO_3	GaP фосфид галлия	400	100	1	15
12.	Ниобат лития LiNbO_3	GaP фосфид галлия	500	200	0.5	10
13.	ZnO окись цинка	GaP фосфид галлия	600	250	1	20
14.	ZnO окись цинка	GaP фосфид галлия	800	300	3	30
15.	LiNbO_3 Ниобат лития	LiNbO_3 Ниобат лития	2500	500	1	5
16.	LiNbO_3 Ниобат лития	LiNbO_3 Ниобат лития	1500	300	1	10
17.	Ниобат лития LiNbO_3	TeO_2 Парателлуриит	50	20	1	90
18.	Ниобат лития LiNbO_3	TeO_2 Парателлуриит	75	25	0.5	70
19.	SiO_2 кварц	TeO_2 Парателлуриит	100	30	2	20
20.	BaTiO_3 титонат бария	LiNbO_3 Ниобат лития	200	60	1	20
21.	LiNbO_3 Ниобат лития	PbMoO_4 молибдат свинца	300	120	0.5	30
22.	ZnO окись цинка	LiNbO_3 Ниобат лития	500	90	1	10
23.	Ниобат лития LiNbO_3	TeO_2 Парателлуриит	60	10	3	80
24.	Ниобат лития LiNbO_3	TeO_2 Парателлуриит	70	20	0.5	70
25.	SiO_2 кварц	TeO_2 Парателлуриит	120	20	2	30
26.	BaTiO_3 титонат бария	LiNbO_3 Ниобат лития	400	80	2	10
27.	LiNbO_3 Ниобат лития	PbMoO_4 Молибдат свинца	300	120	0.5	30

Параметры материалов светозвукопровода приведены в таблице 4, а пьезопреобразователя в таблице 5.

Таблица 4 – Параметры материалов для светозвукопровода АОМ

Матер.	Длина волны света $\lambda_{\text{св.}}$, мкм	Коэфф. Оптич. Погл. α , Нп/м	Показ. Прел. Среды, n_0	Плотность Среды, ρ , кг/м ³	Скорость Акус. Волны $v_{\text{ак}}$, м/с	Коэф Акуст. Погл. $\alpha_{\text{ак}}$, Дб/см (500МГц)	Коэфф. АО. Качества $M_2 \cdot 10^{-15}$, с ³ /кг	Упруго оптич. Коэф.р	Агрег.е Состояние
TeO ₂ Парателлурит	0,63	3	2,26	5720	650	50	800	0,18	тверд
SiO ₂ Плав кварц	0,63	3,2	1,46	2200	5960	3	1,51	0,274	тверд
LiNbO ₃ ниоб лития	0,63	2	2,29	4700	6570	0,03	7	0,255	тверд
GaP фосфид галлия	0,63	2	3,31	4180	6300	2	45	0,161	тверд
PbMoO ₄ молибдат свинца	0,63	2	2,29	6950	3630	2,5	34	0,255	тверд

Таблица 5 – Параметры материалов для пьезопреобразователя АОМ

Материал Пьезопреобр.	Тип УЗВ (ультразвук. Волны)	Относительная проницаем. среды ϵ_r	Плотность ρ , кг/м ³	Коэфф. электромехан. связи, $K_{\text{эл}}$	Скорость звука, $v_{\text{ак}}$, м / с
Ниобат лития LiNbO ₃	Продольный	27,5	4640	0,55	7330
BaTiO ₃ титонат бария	Продольный	1260	5700	0,384	5470
ZnO окись цинка	Продольный	4,58	2650	0,098	5720
PbMoO ₄ молибдат свинца	Продольный	26,8	6950	0,1	3750
Сульфид кадмия	Продольный	$\epsilon_r / \epsilon = 9,5$	5680	0,15	4460

4 РАСЧЕТНОЕ ЗАДАНИЕ № 4

Расчет акустооптического анализатора спектра

Задача. Рассчитать одноканальный акустооптический анализатор спектра (АОАС) в режиме дифракции Брэгга для заданных согласно варианту (см. таблица 3) значениях величин:

- центральная частота – $f_0 = \dots$;
- полоса акустооптической модуляции – $\Delta f = \dots$;
- длина волны светового пучка – $\lambda_0 = \dots$;
- ширина светового пучка – $D_{ВХ} = \dots$;
- выходная мощность генератора – $P = \dots$.

Материал пьезопреобразователя – \dots :

- показатель преломления – $n = \dots$;
- скорость распространения акустической волны – $v = \dots$.

Материал светозвукопровода – \dots :

- показатель преломления – $n = \dots$;
- скорость распространения акустической волны – $v = \dots$.

Геометрические размеры пьезопреобразователя (ПП): h, l, d ;

светозвукопровода (СвЗвПр): a, b, c .

Требуемая акустическая мощность – $P = \dots$.

Задание:

1. Оптимизировать функциональные параметры АОАС – ширину входного светового пучка, $D_{ВХ}$.
2. Выбрать фотоприемное приемное устройство.
3. Определить функциональные параметры АОАС – фокусное расстояние линзы, осуществляющей преобразование Фурье; место расположения и размеры светочувствительной части фотоприемного устройства в спектральной плоскости.
4. Оценить минимальное число разрешимых элементов по частоте δf , время максимального и минимального быстрогодействия τ_{\max}, τ_{\min} .
5. Определить динамический диапазон АОАС.

Указания: Для нахождения недостающих данных необходимо воспользоваться таблицами №1,2,3 и данными, полученными в расчетной работе №3. Параметры материалов светозвукопровода приведены в таблице 4, пьезопреобразователя в таблице 5.

5 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практических работ
1	1	Одномерное и двумерное преобразование Фурье в оптической системе
2	2,	Оптическая фильтрация (ФНЧ,ФВЧ, гребенчатые фильтры)
3	2,4	Брэгговкая ячейка как элемент ввода информации в оптический сигнальный процессор
4	2,3,4	Спектральный анализ сигналов на основе брэгговской ячейки

6 ТЕМЫ ТВОРЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ (РЕФЕРАТОВ)

1. Оптические процессоры обработки сигналов
2. Адаптивные оптические фильтры на основе фоторефрактивных кристаллов
3. Принципы построения оптических компьютеров
4. Оптическое кодирование информации: штрих-коды, QR-коды, баркоды
5. Оптические датчики положения, энкодеры
6. Оптическая обработка сигналов РЛС с синтезированной апертурой
7. Применение элементов голограммной оптики.
8. Оптическая обработка сигналов радиотелескопов
9. Оптические устройства хранения информации.
10. Пространственная фильтрация оптических сигналов

Требования к составлению реферата

Документ оформляется согласно ОС ТУСУР 01-21 и должен иметь титульный лист, содержание, основную часть, заключение, список использованных источников. В списке источники (книги, статьи, патенты) приводить с указанием полных выходных данных и с номером в квадратных скобках по тексту. Оформление: формат А4, Word, Times NR 12 pt, выравнивание по ширине, переносы, межстрочный единичный интервал, формулы в Equation Editor. Объем не менее 20 страниц. Время на презентацию 10 мин.

7 КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

• **Контрольная работа №1 – Интегральные и спектральные преобразования в когерентных оптических системах. Вопросы:**

1. Спектральное представление двумерного оптического сигнала. Представление дискретными пространственными и спектральными отсчетами. Дискретное двумерное преобразование Фурье. Информационная емкость оптического сигнала.
2. Дайте представление монохроматического оптического излучения в виде углового спектра плоских волн. Опишите его использование для решения дифракционных задач при анализе систем оптической обработки информации .
3. Дайте описание передаточной функций свободного пространства конечной толщины в виде линейного дисперсионного пространственного фильтра с конечной полосой пропускания пространственных частот.
4. Опишите применение интеграла суперпозиции для описания линейных оптических систем. Импульсный отклик слоя пространства толщиной z (формула дифракции Рэля-Зоммерфельда).
5. Опишите принцип Гюйгенса-Френеля. Импульсный отклик слоя пространства толщиной z в приближении Френеля.
6. Опишите принцип Гюйгенса-Френеля. Импульсный отклик слоя пространства толщиной z в приближении Фраунгофера.
7. Опишите Фурье-преобразовании, осуществляемом тонкой сферической линзой. Пространственные частоты и их связь с координатами пространства в выходной плоскости устройства
8. Оптический фурье-процессор на основе тонкой сферической линзы. Принцип работы, схемная реализации, рабочие параметры.
9. Сравните различные варианты оптических схем, осуществляющих двумерное преобразование Фурье на основе тонкой сферической линзы. Укажите достоинства и недостатки различных схем.
10. Опишите оптический процессор реализующий обратное преобразование Фурье в оптической системе. Принцип работы, схемная реализация.
11. Опишите оптический процессор реализующий операцию интегрирования. Принцип работы, схемная реализация.

12. Опишите оптический процессор реализующий операцию фильтрации. Принцип работы, схемная реализация .
13. Опишите оптический процессор реализующий операцию дифференцирования. Принцип работы, схемная реализация,
14. Опишите оптический процессор реализующий операцию свертки. Принцип работы, схемная реализация,
15. Опишите оптический процессор реализующий вычисление функции корреляции Принцип работы, схемная реализация.
16. Опишите оптический процессор реализующий операцию согласованной фильтрации. Принцип работы, схемная реализация.
17. Предложите способы измерения фазового спектра в когерентном оптическом фурье-процессоре на основе тонкой сферической линзы (на примере измерения фазы гармонической амплитудной дифракционной решетки).
18. Опишите голографический метод создания двумерных пространственных фильтров. Поясните, в чем состоит сходство и различие процессов записи голограммы на фотопленке по методу Лейта-Упатника и записи комплексного частотного фильтра по методу Ван-дер-Люгта.
19. Фотопленка как оптический транспарант, ее основные характеристики.
20. Как изменится изображение амплитудной гармонической дифракционной решетки на выходе когерентного оптического фильтра, если в частотной плоскости фильтра поместить непрозрачный экран, пропускающий свет нулевого дифракционного порядка?
21. Как в схеме когерентного оптического фильтра может быть увеличен контраст (глубина модуляции) оптического изображения?
22. Поясните, в чем состоит сходство и различие процессов записи голограммы на фотопленке по методу Лейта-Упатника и записи комплексного частотного фильтра по методу Ван-дер-Люгта.
23. Что регистрирует фотопленка при экспонировании? Как удастся записать на черно-белой фотопленке информацию о распределении амплитуды и фазы когерентного оптического излучения? Какова предельная разрешающая способность фотопленки по пространственной частоте?

24. Что изменится на выходе когерентного оптического фильтра, если в частотной области фильтра позитивный фильтр Ван-дер-Люгта заменить на негативный?

25. Назовите наиболее перспективные области применения оптических когерентных фильтров Ван-дер-Люгта

Литература:

1. Ушаков В.Н и др. Оптические устройства в радиотехнике: Учеб. пособие для вузов.- М.: Радиотехника, 2005. -240 с. – Глава 1,2.

• Контрольная работа №2 – Акустооптические процессоры спектрального и корреляционного типа. Вопросы:

1. Акустооптическое взаимодействие как средство ввода динамического сигнала в оптическую систему. Дифракция света на акустических волнах в режиме Рамана-Ната, ее особенности.

2. Акустооптическое взаимодействие как средство ввода динамического сигнала в оптическую систему. Дифракция света на акустических волнах в режиме Брегга, ее особенности.

3. Параметры акустооптических модуляторов. – быстродействие, разрешающая способность, динамический диапазон, эффективность дифракции.

4. Базовые элементы АОП- источники излучения, акустооптические модуляторы, фотоприемники. Основные параметры.

5. Акустооптический согласованный фильтр – принципы работы, схемные реализации, рабочие параметры.

6. Акустооптический конвольвер – принципы работы, схемная реализация, рабочие параметры.

7. Радиочастотный квадратурный АОКГТИ - принцип работы, схемная реализации, рабочие параметры.

8. Акустооптический согласованный фильтр для ЛЧМ-сигналов - принцип работы, схемная реализации, рабочие параметры.

9. Видеочастотный акустооптический коррелятор с временным интегрированием - принцип работы, схемная реализации, рабочие параметры.

10. Радиочастотный акустооптический коррелятор с временным интегрированием Монтгомери - принцип работы, схемная реализации, рабочие параметры
11. Радиочастотный акустооптический коррелятор с временным интегрированием со скрещенными световыми пучками - принцип работы, схемная реализации, рабочие параметры
12. Двумерный Радиочастотный акустооптический коррелятор с временным интегрированием - принцип работы, схемная реализации, рабочие параметры
13. Акустооптические анализаторы спектра с пространственным интегрированием - принцип работы, схемная реализации, рабочие параметры.
14. Акустооптические анализаторы спектра с временным интегрированием - принцип работы, схемная реализации, рабочие параметры
15. Акустооптический процессор для обработки сигналов антенных решеток - принцип работы, схемная реализации, рабочие параметры.

Литература:

1. Ушаков В.Н и др. Оптические устройства в радиотехнике: Учеб. пособие для вузов.- М.: Радиотехника, 2005. -240 с. – Глава 3,4.