

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

**АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ
В ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Методические указания к лабораторным работам

Санкт-Петербург

2017

Авторы: к.т.н. П. С. Баранов, к.т.н. А. А. Манцветов

Анализ и синтез изображений в телевизионных системах: Методические указания к лабораторным работам. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2017.

Представлены методические указания к лабораторным работам по курсу «Анализ и синтез изображений в телевизионных системах».

Методические указания предназначены для магистрантов второго года обучения факультета радиотехники и коммуникаций, обучающихся по направлению «Радиотехника» по магистерской программе «Инфокоммуникационные технологии обработки и анализа пространственной информации».

Одобрено

Методической комиссией факультета радиотехники и телекоммуникаций
в качестве методических указаний к лабораторным работам по курсу
«Анализ и синтез изображений в телевизионных системах»

© СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2017.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
Методические указания по выполнению лабораторных работ.....	5
1. Пороговая чувствительность твердотельных фотоприемников	6
2. Контрастная чувствительность твердотельных фотоприемников.....	9
3. Разрешающая способность твердотельных фотоприемников.....	12
4. Исследование ложных детерминированных сигналов твердотельных фотоприемников.....	16
Заключение	20
Список литературы	21

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Анализ и синтез изображений в телевизионных системах» подразумевает изучение теории оптических систем, используемых в телевидении, теории фотоэлектрического преобразования в полупроводниках, основных фотоэлектрических характеристик и параметров твердотельных фотоприемников, а также принципов формирования сигналов цветного телевидения.

Методические указания к лабораторным работам являются логичным продолжением практических занятий, проводимых в рамках курса «Анализ и синтез изображений в телевизионных системах».

Методические указания предназначены студентам, обучающимся по направлению 11.04.01 Радиотехника (магистерская программа «Инфокоммуникационные технологии обработки и анализа пространственной информации»), а также всем, кто занят в сфере информационных и мультимедийных технологий.

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Для более полного освоения материала рекомендуется ознакомиться с литературой [1-3].

При выполнении конкретных лабораторных работ студенты на практических занятиях изучают теоретические вопросы, связанные с основной темой работы. Далее они получают номер индивидуального задания от преподавателя. Дома студенты готовят заготовку отчета по лабораторной работе, который должен содержать результаты расчетов по индивидуальному заданию и подготовленные позиции для измеренных результатов. Программа расчетов по индивидуальному заданию приведена в методических указаниях по данной лабораторной работе.

На занятии студенты выполняют лабораторную работу, запустив соответствующую программу и действуя в соответствии с методическими указаниями по данной работе. Результаты измерений заносятся в заготовку отчета по лабораторной работе. В отчет записываются также выводы по работе.

На следующем занятии проводится защита лабораторной работы, включающая проверку как полученных теоретически результатов, так и результатов измерений. Преподаватель задает студенту контрольные вопросы, проверяет сделанные им выводы. После этого выносится решение о зачете сделанной лабораторной работы. В случае незачета может быть выдано повторное задание, может быть проведено повторное исполнение лабораторной работы или повторная защита.

1. Пороговая чувствительность твердотельных фотоприемников

Цель работы: научиться оценивать пороговую чувствительность телевизионной системы при известных параметрах и характеристиках твердотельного фотоприемника, оптической системы, источника света, объекта наблюдения.

Формируемые навыки: способность рассчитать требуемые параметры телевизионной системы в заданных условиях наблюдения.

Требуемые знания: изучение тем практических занятий, посвященных изучению интегральной чувствительности, пороговой чувствительности и шумов твердотельных фотоприемников.

Методика проведения лабораторной работы:

1. Получить у преподавателя номер индивидуального задания согласно таблицам 1 и 2.

Таблица 1. Индивидуальные задания к лабораторной работе № 1.

№ п/п	Квантовая эффективность фотоприемника	Спектральная характеристика источника света	Размер пиксела, мкм×мкм	Время накопления, мс
1	1	1	5,86×5,86	20
2	1	1	8,3×8,6	40
3	1	1	3,45×3,45	100
4	1	2	5,86×5,86	500
5	1	2	8,3×8,6	1000
6	2	2	3,45×3,45	20
7	2	3	5,86×5,86	40
8	2	3	8,3×8,6	100
9	2	3	3,45×3,45	500
10	2	4	5,86×5,86	1000
11	3	4	8,3×8,6	20
12	3	4	3,45×3,45	40
13	3	5	5,86×5,86	100
14	3	5	8,3×8,6	500
15	3	5	3,45×3,45	1000

Таблица 2. Индивидуальные задания к лабораторной работе № 1.

№ п/п	Шумы считывания, электронов	Относительное отверстие	Коэффициент отражения объекта
1	3	1:1,4	0,89
2	4	1:2	0,5
3	5	1:2,8	0,1
4	6	1:4	0,89
5	7	1:5,6	0,5
6	8	1:1,4	0,1
7	9	1:2	0,89
8	3	1:2,8	0,5
9	4	1:4	0,1
10	5	1:5,6	0,89
11	6	1:1,4	0,5
12	7	1:2	0,1
13	8	1:2,8	0,89
14	9	1:4	0,5
15	2	1:5,6	0,1

2. Домашнее задание: на основе знаний, полученных на практических занятиях, рассчитать значения пороговой чувствительности в лк для трех значений отношения сигнал/шум, равных 1, 6 и 10. Коэффициент пропускания объектива принять равным 0,9. Значение фотометрического коэффициента принять равным 683 лм/Вт.

3. При выполнении лабораторной работы запустить программу Lab1.

3.1 В соответствующих окнах выставить значения из таблиц 1, 2 в соответствии со своим индивидуальным заданием.

3.2 В окне «Минимум освещенности» задать минимальную освещенность, равную половине полученного значения пороговой освещенности при отношении сигнал/шум, равном 1.

3.3 В окне «Максимум освещенности» задать максимальную освещенность, равную удвоенному значению пороговой освещенности при отношении сигнал/шум, равном 10.

3.4 Снять зависимость отношения сигнал/шум от освещенности на фотоприемнике.

3.5 Проверить, что значения пороговой освещенности, полученные при отношениях сигнал/шум равных 1, 6 и 10 совпадают с расчетными.

3.6 Изменить относительное отверстие объектива. Повторить измерения.

3.7 Изменить время накопления. Повторить измерения.

4. Подготовить отчет по лабораторной работе, включающий результаты домашних расчетов, результаты измерений при различных начальных условиях. Сделать выводы.

Контрольные вопросы:

1. Почему пороговая освещенность рассчитывается при отношениях сигнал/шум 1, 6, 10?

2. Как влияют шумы считывания на пороговую чувствительность?

3. При каком относительном отверстии объектива пороговая чувствительность будет выше: 1:1,4 или 1:5,6?

4. Какая пороговая чувствительность выше: 0,01 лк или 0,015 лк?

5. Где выше освещенность: на фотоприемнике или на объекте?

6. Какой из параметров объектива улучшают просветляющие покрытия?

7. Почему нельзя неограниченно увеличивать время накопления?

8. Как меняется пороговая чувствительность при диафрагмировании объектива?

9. Как меняется пороговая чувствительность при изменении времени накопления?

10. В чем отличие квантовой эффективности от квантового выхода?

2. Контрастная чувствительность твердотельных фотоприемников

Цель работы: научиться оценивать контрастную чувствительность телевизионной системы при известных спектральных характеристиках объекта наблюдения и фона, изучить методы спектральной селекции объектов, изучить закон Роуза.

Формируемые навыки: способность рассчитать требуемые параметры спектральных фильтров, оценивать предельный контраст в заданных условиях наблюдения, понимать методы повышения контрастной чувствительности.

Требуемые знания: изучение тем практических занятий, посвященных изучению контрастной чувствительности, пороговой чувствительности, составляющих шумов твердотельных фотоприемников, знания в области статистической радиотехники.

Методика проведения лабораторной работы:

1. Получить у преподавателя номер индивидуального задания согласно таблицам 1 и 2, а также файл с малоконтрастным изображением.

Таблица 1. Индивидуальные задания к лабораторной работе № 2.

№ п/п	Квантовая эффективность фотоприемника	Спектральная характеристика объекта	Спектральная характеристика фона	Емкость фотодиода, электронов
1	1	1	1	10000
2	1	1	2	12000
3	1	1	3	15000
4	1	2	1	20000
5	1	2	2	30000
6	2	2	3	40000
7	2	3	1	50000
8	2	3	2	10000
9	2	3	3	12000
10	2	4	1	15000
11	3	4	2	20000
12	3	4	3	30000
13	3	5	1	40000
14	3	5	2	50000
15	3	5	3	10000

Таблица 2. Индивидуальные задания к лабораторной работе № 2.

№ п/п	Границы первого спектрального фильтра, нм	Границы второго спектрального фильтра, нм	Границы третьего спектрального фильтра, нм
1	200...300	500...600	900...1000
2	300...400	600...700	800...900
3	400...500	200...300	900...1000
4	500...600	300...400	700...800
5	600...700	300...400	1000...1100
6	700...800	400...500	900...1000
7	800...900	200...300	400...500
8	900...1000	400...500	500...600
9	300...400	400...500	600...700
10	400...500	600...700	900...1000
11	500...600	200...300	1000...1100
12	600...700	300...400	800...900
13	700...800	400...500	900...1000
14	800...900	300...400	500...600
15	900...1000	400...500	700...800

2. Домашнее задание:

2.1 На основе знаний, полученных на практических занятиях, рассчитать дома значения контрастной чувствительности в процентах для трех значений отношения сигнал/шум, равных 3, 5 и 6. Оценить вероятность ложной тревоги для всех трех случаев. При помощи программы Excel построить спектральные характеристики объекта и фона в диапазоне длин волн от 200 до 1100 нм.

2.2 По спектральным характеристикам объекта и фона и квантовой эффективности фотоприемника вычислить значение относительного контраста K без применения спектральной селекции.

2.3 Применить спектральные фильтры к спектральным характеристикам объекта и фона, вычислить для трех случаев значения относительных контрастов K_1 , K_2 и K_3 . Оценить эффективность спектрального фильтра по формуле K/K_i .

2.4 Подобрать самому границы спектрального фильтра, вычислить значение относительного контраста.

2.5 В программе MATLAB применить к полученному малоконтрастному изображению операции эквализации гистограмм и растяжки заданного участка гистограммы.

2.6 Подготовить электронную заготовку отчета с полученными данными и изображениями.

3. При выполнении лабораторной работы запустить программу Lab2.

3.1 В соответствующих окнах выставить значения из таблицы 1 и 2 в соответствии со своим индивидуальным заданием.

3.2 Получить значения контрастной чувствительности для трех отношений сигнал/шум.

3.3 Получить значения относительных контрастов K_1 , K_2 и K_3 и эффективности данных спектральных фильтров, проверить, что рассчитанные значения совпадают с расчетными.

3.4 Задать в окне «Пользовательский фильтр» минимальную и максимальную длины волн подобранного индивидуального спектрального фильтра, измерить значение относительного контраста и эффективность фильтра, сравнить с расчетными.

3.5 Загрузить файл исходного изображения, выданного преподавателем.

3.6 Применить к нему операции эквализации гистограмм и растяжки заданного участка гистограммы. Сравнить полученные результаты с результатами, выполненными дома.

4. Подготовить отчет по лабораторной работе, включающий результаты домашних расчетов, результаты измерений при различных начальных условиях. Сделать выводы.

Контрольные вопросы:

1. Почему контрастная чувствительность рассчитывается при отношениях сигнал/шум 3, 5, 6?
2. Как влияют шумы считывания на контрастную чувствительность?
3. Каковы основные свойства распределения Пуассона?
4. Что такое интерференционный фильтр?
5. Каков диапазон длин волн чувствительности кремниевого фотоприемника?
6. Какова связь между контрастной чувствительностью и динамическим диапазоном?
7. Как влияет на контрастную чувствительность биннинг?
8. Как влияет на контрастную чувствительность цифровое накопление?
9. Как влияет на контрастную чувствительность время накопления?
10. Как влияет на контрастную чувствительность частота кадров?

3. Разрешающая способность твердотельных фотоприемников

Цель работы: научиться рассчитывать апертурно-частотные характеристики твердотельных фотоприемников, оценивать разрешающую способность телевизионной системы, учитывать функцию передачи модуляции объектива и фильтра нижних пространственных частот.

Формируемые навыки: способность рассчитать апертурно-частотные характеристики при задании формы действующей апертуры и наоборот, рассчитать разрешающую способность телевизионной системы при известных параметрах объектива, фотоприемника и фильтра нижних пространственных частот.

Требуемые знания: изучение тем практических занятий, посвященных разрешающей способности фотоприемника и оптической системы, изучение

параметров и характеристик объективов, изучение по учебникам понятия разрешающей способности телевизионной системы.

Методика проведения лабораторной работы:

1. Получить у преподавателя номер индивидуального задания согласно таблицам 1 и 2.

Таблица 1. Индивидуальные задания к лабораторной работе № 3.

№ п/п	Форма действующей апертуры по горизонтали	Форма действующей апертуры по вертикали	Размер пиксела фотоприемника по горизонтали, мкм
1	Прямоугольная	Трапецеидальная* 0,0075	3,25
2	Прямоугольная	Трапецеидальная* 0,01	3,45
3	Прямоугольная	Трапецеидальная* 0,0125	3,45
4	Прямоугольная	Трапецеидальная* 0,015	4,0
5	Прямоугольная	Трапецеидальная* 0,0175	4,5
6	Прямоугольная	Трапецеидальная* 0,02	5,0
7	Прямоугольная	Трапецеидальная* 0,025	5,5
8	Прямоугольная	Трапецеидальная* 0,030	6,0
9	Трапецеидальная* 0,0075	Прямоугольная	6,0
10	Трапецеидальная* 0,01	Прямоугольная	6,0
11	Трапецеидальная* 0,0125	Прямоугольная	6,5
12	Трапецеидальная* 0,015	Прямоугольная	6,5
13	Трапецеидальная* 0,0175	Прямоугольная	6,5
14	Трапецеидальная* 0,02	Прямоугольная	7,0
15	Трапецеидальная* 0,025	Прямоугольная	7,5

Таблица 2. Индивидуальные задания к лабораторной работе № 3.

№ п/п	Размер пиксела фотоприемника по вертикали, мкм	Форма апертурно-частотной характеристики	Диаметр входного зрачка объектива	Толщина ФНПЧ
1	3,45	Гауссова	30	1
2	4,0	Sinc	28	1,1
3	5,5	Sinc ²	27	1,2
4	3,45	Прямоугольная	26	1,3
5	4,0	Трапецеидальная	25	1,4
6	5,5	Гауссова	24	1,5
7	6,0	Sinc	23	1,6
8	4,0	Sinc ²	22	1,7
9	5,5	Прямоугольная	21	1,8
10	6,0	Трапецеидальная	20	1,9
11	5,0	Гауссова	19	2,0
12	6,5	Sinc	18	2,1
13	7,0	Sinc ²	17	2,2
14	7,5	Прямоугольная	16	2,3
15	8,0	Трапецеидальная	15	2,4

* Для трапецеидальной действующей апертуры указаны протяженность боковых сторон в долях от размера пиксела в соответствующем направлении. Трапеция – симметрична.

2. Домашнее задание:

2.1 На основе знаний, полученных на практических занятиях и из учебников, рассчитать дома продольную и поперечную апертурно-частотные характеристики фотоприемника. Построить их и занести в отчет. Записать значение глубины модуляции на частоте Найквиста для обоих случаев.

2.2 На основании формы заданной апертурно-частотной характеристики построить качественно действующую апертуру фотоприемника (в одном направлении).

2.3 Рассчитать дифракционный предел разрешения объектива. Считая, что в объективе присутствуют только дифракционные ограничения рассчитать форму функции передачи модуляции. Перемножить апертурно-частотные характеристики фотоприемника на функцию передачи модуляции объектива. Полученные характеристики занести в отчет. Записать значение глубины модуляции на частоте Найквиста для обоих случаев.

2.4 Рассчитать контрастно-частотную характеристику фильтра нижних пространственных частот. Перемножить апертурно-частотные характеристики фотоприемника на функцию передачи модуляции объектива и на контрастно-частотную характеристику фильтра нижних пространственных частот. Полученные характеристики занести в отчет. Записать значение глубины модуляции на частоте Найквиста для обоих случаев.

3. При выполнении лабораторной работы запустить программу Lab3.

3.1 В соответствующих окнах выставить заданные функции формы действующей апертуры в поперечном и продольном направлениях, а также

задать размер боковых сторон трапеций. Выставить значения размеров пиксела в соответствии со своим индивидуальным заданием.

3.2 Получить апертурно-частотные характеристики, сравнить их значения на частоте Найквиста с рассчитанными.

3.3 Задать диаметр входного зрачка объектива, получить вид дифракционно ограниченной функции передачи модуляции. Проверить значение функции на частоте Найквиста. Получить произведение апертурно-частотной характеристики на функцию передачи модуляции.

3.4 Задать толщину фильтра нижних пространственных частот. Получить его контрастно-частотную характеристику. Сравнить ее значение на частоте Найквиста с рассчитанной.

3.5 Полученные значения и вид характеристик занести в отчет.

4. Подготовить отчет по лабораторной работе, включающий результаты домашних расчетов, результаты измерений апертурно-частотных характеристик, функции передачи модуляции объектива и контрастно-частотной характеристики фильтра нижних пространственных частот. Сделать выводы.

Контрольные вопросы:

1. Как связана форма апертурно-частотной характеристики и действующей апертуры?
2. Что важнее в изображении – апертурно-частотная характеристика или фазо-частотная характеристика?
3. Как телевизионные линии связаны с оптическими?
4. Из какого материала изготавливается фильтр нижних пространственных частот?
5. Что такое двойное лучепреломление?
6. Каков критерий Рэлея для углов и для расстояний?
7. Возможно ли у объектива разрешение выше, чем по критерию Рэлея?

8. Что такое входной зрачок объектива?
9. Какова действующая апертура передающей телевизионной трубки?
10. При помощи какого устройства можно поднять верхние частоты в видеосигнале?

4. Исследование ложных детерминированных сигналов твердотельных фотоприемников

Цель работы: научиться оценивать уровень ложных детерминированных сигналов твердотельных фотоприемников при различных условиях эксплуатации, изучить методы компенсации ложных детерминированных сигналов.

Формируемые навыки: способность самостоятельно оценивать уровень артефактов на изображении при различных условиях эксплуатации телевизионной аппаратуры, способность предсказывать появление ложных детерминированных сигналов при воздействии экстремальных условий – высокой и низкой температуры, солнечной радиации, вакуума.

Требуемые знания: изучение тем практических занятий, посвященных ложным детерминированным сигналам твердотельных фотоприемников, изучение по учебникам понятий темнового тока, геометрического шума, горячих пикселей, инерционности, смаза, неэффективности переноса.

Методика проведения лабораторной работы:

1. Получить у преподавателя номер индивидуального задания согласно таблицам 1 и 2.

Таблица 1. Индивидуальные задания к лабораторной работе № 4.

№ п/п	Значение темнового тока при температуре +20°С	Температура фотоприемника, °С	Инерционность*, %	Уровень вертикального смаза при стандартных условиях, дБ
1	1	70	0,05	-80
2	2	75	0,10	-85
3	3	80	0,15	-90
4	4	85	0,20	-95
5	5	90	0,25	-100
6	6	95	0,01	-105
7	7	100	0,02	-110
8	8	105	0,03	-115
9	1	100	0,04	-120
10	2	95	0,26	-60
11	3	90	0,27	-65
12	4	85	0,28	-70
13	5	80	0,16	-75
14	6	75	0,17	-55
15	7	70	0,1	-50

Таблица 2. Индивидуальные задания к лабораторной работе № 4.

№ п/п	Размер по вертикали крупной детали, % от высоты фотоприемника	Уровень пересветки, раз	Неэффективность переноса	Число элементов ПЗС регистра
1	18	50	$3 \cdot 10^{-5}$	4096
2	20	45	$4 \cdot 10^{-5}$	3512
3	22	40	$5 \cdot 10^{-5}$	3200
4	24	35	$6 \cdot 10^{-5}$	2984
5	26	30	$7 \cdot 10^{-5}$	2532
6	28	25	$8 \cdot 10^{-5}$	2048
7	30	20	$9 \cdot 10^{-5}$	1892
8	18	45	$1 \cdot 10^{-6}$	5192
9	20	35	$2 \cdot 10^{-6}$	4842
10	22	30	$3 \cdot 10^{-6}$	4400
11	24	25	$4 \cdot 10^{-6}$	4096
12	26	20	$5 \cdot 10^{-6}$	3548
13	28	17,5	$6 \cdot 10^{-6}$	3012
14	30	15	$7 \cdot 10^{-6}$	2892
15	18	60	$8 \cdot 10^{-6}$	2562

* Пусть максимальная емкость фотодиода составляет 30 000 электронов.

2. Домашнее задание:

2.1 На основе знаний, полученных на практических занятиях и из учебников, рассчитать дома уровень темнового тока твердотельного фотоприемника при заданной температуре и при температурах $\pm 5^\circ$ и $\pm 10^\circ$. Построить

графики. Рассчитать среднеквадратическое отклонение флуктуационных шумов темнового тока.

2.2 Рассчитать остаточный сигнал в первом и втором кадрах, пользуясь заданными значениями инерционности.

2.3 Используя выданные значения стандартного уровня вертикального смаза для матричного ПЗС, а также размер яркой детали по вертикали и уровень пересветки, рассчитать уровень вертикального смаза для данной детали.

2.4 Для матричного ПЗС рассчитать результирующую неэффективность переноса, учитывая то, что перенос осуществляется в двухфазном регистре.

2.5 Все полученные данные занести в отчет по лабораторной работе.

3. При выполнении лабораторной работы запустить программу Lab4.

3.1 В соответствующих окнах выставить значения из таблицы 1 в соответствии со своим индивидуальным заданием.

3.2 Получить зависимость темнового тока от температуры и сравнить ее с рассчитанной. Полученные данные занести в отчет. Проверить соответствие рассчитанных значений среднеквадратического отклонения шума темнового тока, снятого при измерениях. Полученные результаты занести в отчет.

3.3 Задать значение инерционности в соответствующем окне. Проверить, совпадают ли рассчитанные значения с измеренными. Занести результаты в отчет.

3.4 Провести моделирование вертикального смаза перейдя в соответствующую вкладку меню и задав в окнах значения индивидуального задания. Полученные результаты и синтезированное изображение включить в отчет

3.5 Перейти во вкладку неэффективность переноса для матричного ПЗС и задать индивидуальные значения. Получить значение суммарной не-

эффективности переноса, сравнить ее с рассчитанной. Просмотреть и сохранить изображение, искаженное неэффективностью горизонтального переноса.

4. Подготовить отчет по лабораторной работе, включающий результаты домашних расчетов, результаты темнового тока, инерционности, вертикального смаза, неэффективности переноса. Сделать выводы.

Контрольные вопросы:

1. В каком твердотельном фотоприемнике темновой ток больше – матричном ПЗС или в КМОП-сенсоре?
2. Какие есть методы борьбы с темновым током?
3. Каков был уровень инерционности в плюмбиконах?
4. В чем причина образования вертикального смаза в матричных ПЗС с кадровым переносом?
5. В чем причина образования вертикального смаза в матричных ПЗС со строчным переносом?
6. Для чего необходим матричный ПЗС со строчно-кадровым переносом?
7. Каков уровень неэффективности переноса в поверхностном канале?
8. Каков уровень неэффективности переноса в объемном канале?
9. Может ли возникнуть неэффективность переноса в КМОП-сенсоре?
10. Что такое геометрический шум?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения курса лабораторных работ студенты выполняют большой объем самостоятельной работы, позволяющий лучше усвоить основные понятия, изучаемые в курсе дисциплины. Разнообразие выдаваемых заданий позволяет студентам делать различные выводы о результатах выполнения работы, что позволяет преподавателю судить о степени самостоятельности выполнения работы и понимании студентом темы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цифровое преобразование изображений. Учеб. пособие для вузов по направлению "Радиотехника" / Р. Е. Быков, Р. Фрайер, К. В. Иванов, А. А. Манцветов; Под ред. Р. Е. Быкова. - М.: Горячая линия–Телеком, 2003. 228 с.
2. Цыцулин А. К. Телевидение и космос. СПб: Изд-во СПбГЭТУ СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 240 с.
3. Манцветов А. А., Цыцулин А. К. Телекамеры на КМОП фотоприемниках. Вопросы радиоэлектроники, сер. Техника телевидения, 2006, вып. 2. С. 70–89.

Методические указания к лабораторным работам

Баранов Павел Сергеевич
Манцветов Андрей Александрович

Анализ и синтез изображений в телевизионных системах

Издание публикуется в авторской редакции

СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
197376, Санкт-Петербург ул. Проф. Попова, 5