

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»
(Самарский университет)

Институт информатики, математики и электроники

Факультет электроники и приборостроения

Кафедра лазерных и биотехнических систем

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

«Устройство видеокапсульной эндоскопии»

по направлению подготовки 12.03.04 Биотехнические
системы и технологии

(уровень бакалавриата)

направленность (профиль) «Биомедицинская техника»

Обучающийся _____ Н.И. Фадеев

Руководитель ВКР,

к.т.н., доцент _____ И.А.

Кудрявцев

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Самарский национальный исследовательский
университет
имени академика С.П. Королева» (Самарский университет)

Кафедра лазерных и биотехнических систем

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий
кафедрой

_____ / В.П.Захаров /
(подпись) И.О.Фамилия

« ____ » _____ 20__ г.

Задание на выпускную квалификационную работу (ВКР)

Студенту _____ Фадееву Никите Ивановичу
(ФИО, полностью)

Группы 6464-120304D

1. Тема ВКР:

«Разработка устройства видеокапсульной эндоскопии»

утверждена приказом по университету от « ____ » _____ 20__ г.
№ _____

2. Перечень вопросов, подлежащих разработке в ВКР:

2.1 провести анализ существующих решений по визуализации
труднодоступных участков тонкого кишечника;

2.2 разработать структурную электрическую схему устройства;

2.3 разработать принципиальную электрическую схему
устройства;

2.4 разработать алгоритм работы устройства;

2.5 Разрабатываемое устройство должно обеспечивать
визуализацию тонкого кишечника на всем его протяжении, должна
быть возможность использовать устройство повторно;

2.6 Требуемые характеристики устройства:

2.6.1 разрешение: 248x248 (не менее);

2.6.2 глубина резкости: 0-5 см;

2.6.3 угол обзора латерально: 360 градусов;

2.6.4 угол обзора аксиально: 120 градусов (не менее);

2.6.5 длительность работы в автономном режиме: 8 ч (не менее);

2.6.6 скорость съемки 5 кадров/сек (не менее);

2.6.7 бесконтактное считывание;

2.6.8 бесконтактный заряд аккумуляторов посредством
трансформаторной связи;

2.6.9 Габариты \varnothing 13 x 30 мм (не более);

3. Дата выдачи задания: « ____ » _____ 20__ г.

4. Срок представления на кафедру законченной ВКР: « ____ » _____
20__ г

Руководитель ВКР

Декан факультета электроники и приборостроения _____ / И.А.

Кудрявцев /

должность, степень
И.О.Фамилия

подпись

Задание принял к исполнению _____ /

Н.И. Фадеев /

И.О.Фамилия студента

подпись студента

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 72с, 33 рисунка, 29 источников,
4 приложения.

ВИДЕОКАПСУЛЬНАЯ ЭНДОСКОПИЯ, АКСИАЛЬНЫЙ
ОБЪЕКТИВ, ЛАТЕРАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТИВ, ПИТАНИЕ ОТ
АККУМУЛЯТОРОВ, ПЛИС, ПЕТЛЕВАЯ АНТЕННА,
ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА.

В работе было разработано устройство для
видеокапсульной эндоскопии с панорамным и фронтальным
обзором. Устройством управления матрицами послужил
автомат с конечным числом состояний на базе ПЛИС.
Питание устройства осуществляется за счет аккумуляторов.
Устройство можно использовать повторно после заряда.
Заряд – бесконтактный, от энергии радиоволн.

Также в работе приведены расчетные формулы,
принципиальная схема, перечень элементов эюры сигналов
модулей устройства управления.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ.....	8
2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ.....	12
2.1 Выбор матрицы.....	12
2.2 Выбор метода передачи данных.....	15
2.3 Выбор блока управления.....	16
2.4 Выбор способа управления капсулой.....	16
2.5 Выбор аккумуляторов и преобразователей питания.....	17
2.6 Выбор способа заряда.....	18
3 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ.....	19
3.1 Выбор способа модуляции.....	19
3.2 Разработка устройства управления матрицами.....	23
3.2.1 Разработка модуля top_NanEye.....	27
3.2.2 Разработка модуля Clock_data_recovery.....	28
3.2.3 Разработка модуля MUX.....	30
3.2.4 Разработка модуля deserialisator.....	31
3.2.5 Разработка модуля Antenna_ctrl.....	32
3.2.6 Разработка модуля picture_watch.....	33
3.2.7 Разработка serial_config:.....	35
3.3 Выбор метода задания конфигурации ПЛИС.....	37
3.4 Выбор схемы переключения режимов антенны и аккумулятора.....	39
3.5 Выбор RF-DC преобразователя.....	41
3.6 Подключение матриц NanEye 2D.....	43
3.7 Выбор светодиодов.....	44

3.8 Подключение DC-DC преобразователей.....	45
3.9 Расчёт времени работы.....	46
4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ С КАПСУЛОЙ.....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	49
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	50

ВВЕДЕНИЕ

Болезни тонкого кишечника характеризуются специфическими морфологическими изменениями слизистой оболочки разной степени выраженности. В большинстве случаев болезни ТК имеют тяжелое, часто прогрессирующее течение [1].

На современном этапе развития медицины существует ряд методов, позволяющих визуально оценить заболевания тонкого кишечника. К ним относят:

1) Колоноскопия. Инструментом в данном исследовании является эндоскоп. С помощью сигналов с видеокамеры врач способен оценить состояние внутренних стенок кишечника, наличие опухолей, язв, полипов и воспаления. Однако процедура годится лишь для осмотра небольшого участка тонкого кишечника, поскольку полный осмотр ограничивает длина эндоскопа. К противопоказаниям процедуры относят: острую стадию инфаркта миокарда, перфорацию кишечника, перитонит, воспаление брюшной полости, молниеносная форма ишемического колита, острую сердечно-сосудистую или дыхательную недостаточность.

2) Компьютерная томография. Процедура позволяет построить трехмерную модель тонкого кишечника, на основании которой врач и ставит диагноз. Диагностика занимает до десяти минут. Метод абсолютно безболезненный. Противопоказания аналогичны колоноскопии, и ко всему прочему, данный метод не годится для беременных женщин.

3) Баллонная эндоскопия. Процедура длится несколько часов и проходит под общим наркозом. Врач вводит эндоскоп с двумя или одним баллоном в задний проход и ротовую

полость, после чего начинается осмотр кишечника. Баллоны необходимы для фиксации трубки и дальнейшего самостоятельного передвижения продолжения эндоскопа. Баллонная эндоскопия кроме осмотра позволяет делать биопсию, удалять опухоли или инородные тела, останавливать кровотечения.

4) Капсульная эндоскопия. Метод представляет собой обследование, с помощью видеокамеры в специальном корпусе. Капсула продвигается по ЖКТ передает или записывает визуальную информацию о внутреннем строении тонкого кишечника. После врач-эндоскопист анализирует полученные видеоданные, и ставит диагноз.

Таблица 1 – достоинства и недостатки существующих методов диагностики тонкого кишечника

Метод	Достоинства	Недостатки
Колоноскопия	- низкая стоимость	- противопоказания - низкая информативность
Компьютерная томография	- низкая информативность исследования - комфорт пациента	- нет возможности брать биопсию - противопоказания
Баллонная эндоскопия	- возможность проводить биопсию - просмотр в режиме реального времени	- необходим наркоз - противопоказания - необходимость прямого и ретроградного доступа
Капсульная Эндоскопия	- малое число противопоказаний - комфорт пациента - отсутствие наркоза	- нет возможности брать биопсию

Таким образом, капсульная эндоскопия сегодня, является информативным способом диагностики тонкого кишечника, длина которого не позволяет исследовать его

классическими эндоскопическими средствами. Преимущества капсульной эндоскопии – комфорт, безопасность, минимум противопоказаний, отсутствие необходимости наркоза, делают капсульную эндоскопию востребованным средством диагностики в гастроэнтерологии.

1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ

Видеокапсульная эндоскопия чаще всего используется при диагностике кровотечений неясной этиологии (obscure gastrointestinal bleeding). Показанием к проведению капсульной эндоскопии также являются подозрение на болезнь Крона, опухоли тонкой кишки, повреждение тонкой кишки в результате приема нестероидных противовоспалительных медикаментов, целиакии, а также наследственные полипозы [2]. На данный момент существует множество видеокапсул, которые условно можно разделить на капсулы с аксиально расположенными объективами и латерально расположенными объективами [3].

В [4, 5, 6] отмечается, что низкая чувствительность видеокапсул с аксиально расположенными объективами к ангиэкстазиям, дивертикулам и др. получается из-за возникновения большого числа слепых зон в процессе перемещения по извилистым каналам тонкого кишечника. Пример случаев возникновения подобных зон представлен на рисунке 1.

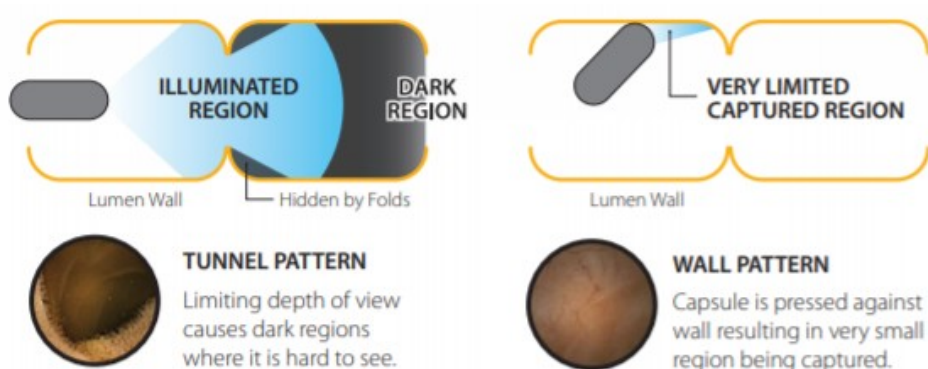


Рисунок 1 – малоинформативные кадры классической аксиальной видеокапсулы [15]

Исследования [5-8] показывают, что диагностический выход капсул с латеральными объективами на 32% больше выхода капсул с аксиально расположенными объективами.

Изображения, полученные с помощью панорамных систем высокоинформативны, но крайне тяжело анализируемы, поскольку в них отсутствует визуализация просвета полого органа [9]. Это требует долгой адаптации врача-эндоскописта и, соответственно, ведет к увеличению времени интерпретации результатов анализа, что увеличивает временные и финансовые затраты на исследование. Поэтому существует потребность в фиксации одновременно панорамного изображения и изображения просвета кишечника.

Параметры пространства изображения важны при 3-D реконструкции, при локализации капсулы и особенно при определении размеров объектов на изображении [3]. Всего существуют несколько типов объективов видеокапсул (Рисунок 2) **a**, **b** – капсулы с аксиально расположенными объективами, **c** – с возможностью вращения матрицы вокруг неподвижной оси, **d** – объектив представляет собой несколько латерально расположенных матриц, **e** – изображение на матрице формируется с помощью конусообразного зеркала. По данным [3] минимум aberrаций и соответственно наименьшее число ошибок характерно для случая – **d**. Поэтому формирование панорамного изображения с помощью нескольких матриц предпочтительнее.

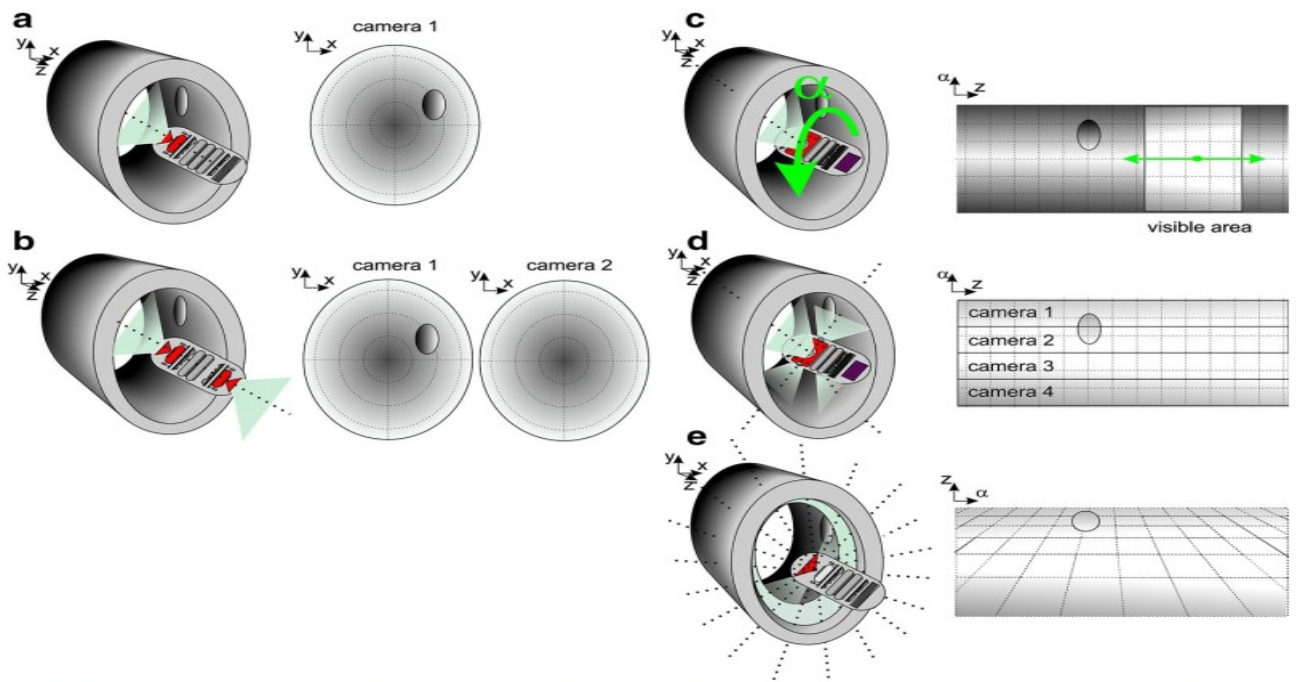


Рисунок 2 - положение объектов в пространстве и на изображении для разных типов объективов [3]

Реализация высокоточной оптической системы, состоящей из линз, зеркал и матриц требует значительных финансовых затрат. Требования к качеству изготовления линз, зеркал, к допускам во время сборки конструкции увеличивают стоимость медицинского диагностического изделия. С развитием технологий печати систем на кристалле, КМОП матрицы становятся все более миниатюрными и доступными [10]. Поэтому объектив панорамных капсул, состоящий из нескольких матриц экономически выгоднее конструкции с конусным зеркалом.

На рынке сегодня основными производителями видеокапсул являются: Given Imaging, Olympus America, Intromedic Co, OMOM, Capso-vision. Характеристики капсул данных производителей представлены в таблице 2.

Таблица 2 -характеристики современных видеокапсул

	PillCa	PillCa	PillCam	Endo	MicroCa	OMOM	Capso-
--	--------	--------	---------	------	---------	------	--------

	m Colon 2	m ESO2	SB3	Capsul e	m		Vision
количество объективов	2	2	1	1	1	1	4
разрешение	256x256	256x256	256x256	512x512	320x320	256x256	248x248
угол обзора латерально	-	-	-	-	-	-	360°
угол обзора аксиально	170°	169°	156°	145°	170°	145°	-
срок службы батареи, ч	10	30 мин	11	9	11	8	15
кадров в секунду	4-35	14	2-6	2	3	2	15
габариты, мм	11.6x31	11x26	11x26	11x26	11x24	13x28	11.6x31

В соответствии с техническим заданием, сформированными рыночными тенденциями, а также учитывая преимущества и недостатки имеющихся решений, предлагается вариант конструкции видеокапсулы (Рисунок 3). Время непрерывной работы не менее 8 часов – с учетом среднего времени прохождения капсул по ЖКТ. Разрешение матриц не менее 248x248 пикселей. Глубина резкости 0 – 5 см - в соответствии с особенностями просвета тонкого кишечника [1]. Частота не менее 10 кадров в секунду – согласно средней скорости перемещения капсулы внутри ЖКТ. Диаметр и длина не более 13 мм и 30 мм соответственно – допустимые габариты для комфортного проглатывания устройства. Глубина резкости достигается с помощью линз, расположенных на стенках капсулы. Угол обзора - аксиально не менее 120°. Характеристики сведены в таблицу 3.

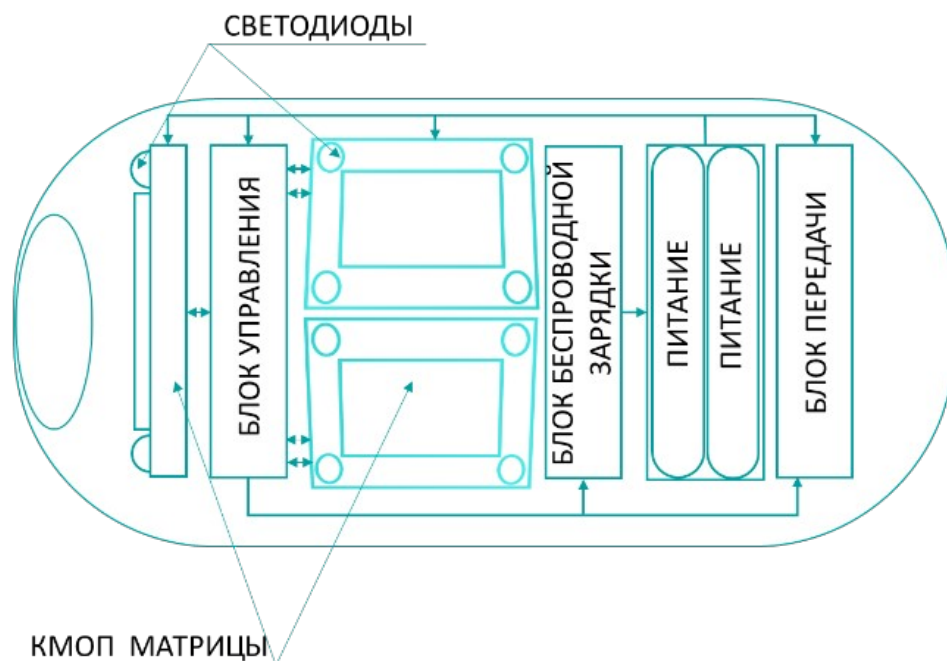


Рисунок 3- функциональная схема видеокапсулы

Таблица 3 - технические характеристики проектируемого устройства

		Значение	единицы измерения	примечание
1	глубина резкости	0-5	см	(не менее)
2	разрешение	248x248	пикс.	(не менее)
3	угол обзора латерально	360°	град.	
4	угол обзора аксиально	120°	град.	(не менее)
5	кол-во часов в автономном режиме	8	ч	(не менее)
6	кадров в секунду	5	кадров/сек	(не менее)
7	габариты	13x30	мм	(не более)
8	передача информации на внешнее устройство			
9	бесконтактный заряд аккумуляторов			

2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ

Структурная схема устройства представлена на рисунке 4.

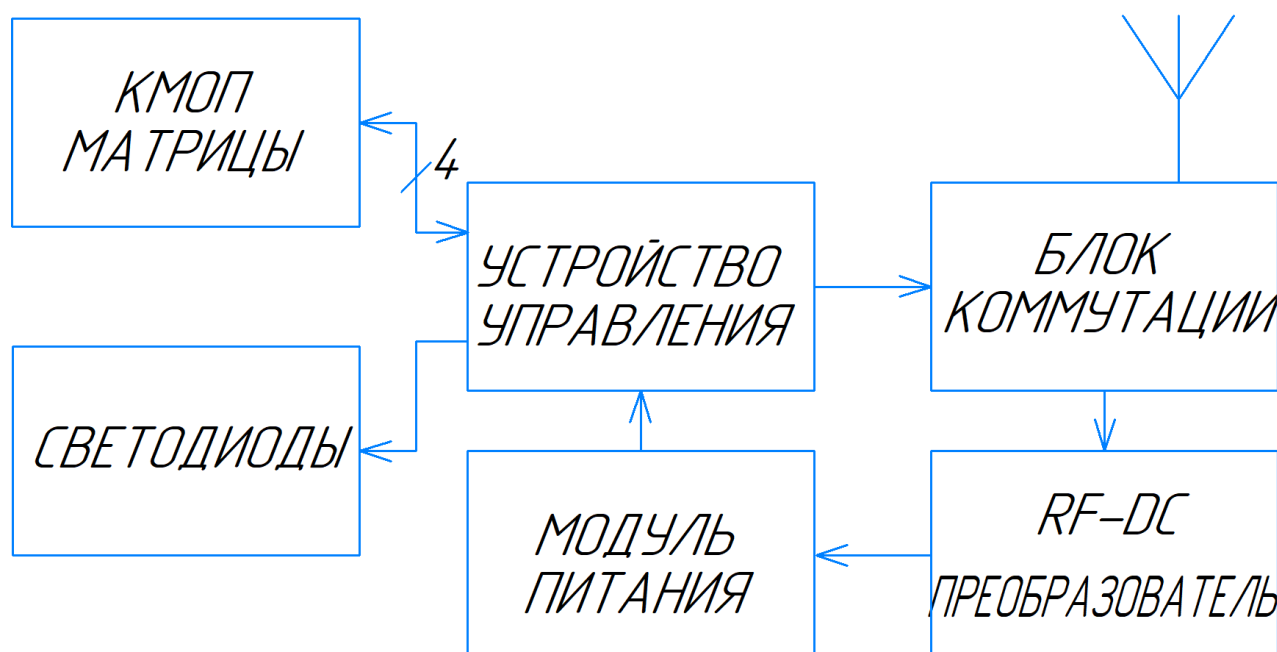


Рисунок 4 – структурная схема устройства

2.1 Выбор матрицы

На современном рынке светочувствительных матриц широко представлены продукты, удовлетворяющие требованиям высокого разрешения (более 248x248 пикс.) и габаритных размеров, т. е. линейный размер (длина или ширина) матрицы не должен превышать диаметра капсулы.

Для матриц прямоугольной формы это $\frac{12}{\sqrt{2}}=8,48\text{ мм}$ (с учетом толщины стенок 0.5 мм [11]). К ним относят матрицы OV6946 от компании OmniVision или NanEye 2D от компании AMS.

Обе матрицы [12, 22] имеют линейные размеры 1x1 мм и необходимую разрешающую способность. Преимущество матрицы NanEye 2D состоит, в том, что её SNR больше на 21 дБ (36.8 дБ для OV6946 и 58 дБ для NanEye 2D), потребление

NanEye 2D ниже в 6 раз (25мВт для OV6946 и 4,2мВт для NanEye 2D). Исходя из этого выбор матрицы останавливается на NanEye 2D.

NanEye 2D поставляется вместе с линзами, обеспечивающими угол обзора в 120° и глубину резкости 3-50 мм. Принцип работы матриц позволяет принимать изображения с частотой до 63fps. Технические параметры представлены в таблице 4 [12].

Таблица 4 - параметры КМОП матрицы.

Параметр	значение	размерность
Размеры	1x1	мм
Разрешение	249x250	пикс.
Способ передачи сигнала	LVDS	
Интерфейс	I2C	
Частота восходящего потока	2,5	МГц
Частота нисходящего потока	30	МГц
Потребление	4,7	мВт
Глубина цвета	10	бит

Матрица работает по алгоритму, представленному на рисунке 4. При подаче питания происходит инициализация и начинается передача синхронизирующего пакета. После синхронизации NanEye 2D отправляет пакетами в 12 bit (start bit + 10 bit + stop bit) значения каждого пикселя слева направо в строке, и сверху вниз по строкам. После этого камера принимает управляющие биты по интерфейсу I2C используя ту же линию LVDS и цикл повторяется. Таким образом, происходит последовательная отправка кадров с частотой 44-62 fps. Матрица полностью автономна, управление позволяет задать, усиление АЦП, уровень

черного, а также сбрасывать строки, задавая тем самым время экспозиции.

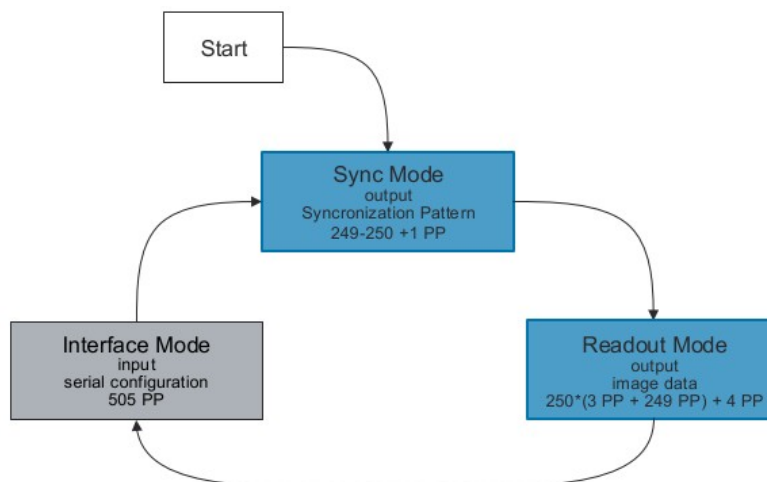


Рисунок 5 - алгоритм работы NanEye [12]

Для предотвращения искажений матрицы в капсуле устанавливаются так, чтобы центр объектива совпадал с центром кривизны купола капсулы для фронтального случая [14].

В решении [14] для экспозиции использовались четыре светодиода с суммарной силой света 520mcd, для одной матрицы с сопоставимой с NanEye 2D чувствительностью. В данном решении используются четыре светодиода установленные возле каждой матрицы. Суммарная сила излучения в этом случае составляет 1920 mcd.

2.2 Выбор метода передачи данных

Существует два концептуально разных подхода к передаче информации с капсул – это передача по радиосвязи и накопление на внутреннем носителе. Как отмечается в исследовании [3], главным недостатком второго подхода является отсутствие возможности просматривать изображения в режиме реального времени, в то время как радиосвязь позволяет врачу-эндоскописту контролировать съемку с помощью внешнего устройства в режиме on-line.

В данной реализации выбор передачи данных сделан в пользу радиосвязи. Приемная и передающая антенна представлена в исследовании [13].

Поскольку капсула внутри организма излучает радиоволны, необходимо учитывать вопросы безопасности, т. е. максимально допустимую энергию поглощения тканей при воздействии радиоволн. Величина SAR - Specific absorption rate – удельный коэффициент поглощения, по данным IEEE C95.1-1999 [13] и C95.1-2005 [13] не должна превышать 1.6 Вт/кг для 1 грамма ткани или 2Вт/кг для 10 граммов ткани. Согласно проведенному на модели человеческого тела исследованию [13], максимальная допустимая мощность на входе используемой антенны это 7.1 и 28 мВт для толстой кишки, 5.0 и 24мВт для тонкой кишки, 7.2 и 25мВт для желудка, на 1 грамм и 10 граммов ткани соответственно.

Поскольку информация с матрицы поступает со скоростью 30 Mbps (30 МГц частота передатчика NanEye 2D) радиопередача должна осуществлять передачу со скоростью большей этого значения, для предотвращения переполнения

памяти устройства, т. е. полоса частот должна составлять более 60 МГц.

2.3 Выбор блока управления

Для реализации приема информации с матриц можно воспользоваться микроконтроллером (процессором) или ПЛИС. Рекомендуемая частота приемника 300МГц – необходима для надежного определения фазы поступающего с матриц сигнала [12]. Реализация на базе микроконтроллера (процессора) требует наличия двух десериализаторов с дифференциальными и несимметричными входами и выходами, что сокращает количество свободного пространства внутри капсулы. Поэтому в данном случае задача управления и приема информации осуществляется с помощью ПЛИС. Основные требования — это наличие достаточного количества портов LVDS, т. е. 4 порта для приема информации и 4 порта для задания конфигурации, также еще 1 порт используется для управления антенной, и компактные размеры кристалла (линейные размеры не превышают $\frac{12}{\sqrt{2}}=8,48$ мм). Всем этим требованиям удовлетворяет кристалл фирмы Lattice Semiconductor MachXO3LF4300C-6UWG81C с размерами корпуса 6x6 мм [18].

2.4 Выбор способа управления капсулой

Активируется и деактивируется капсула с помощью магнитоуправляемого нормально замкнутого ключа [27]. Такой способ управления позволит запускать прекращать работу капсулы без нарушения ее герметичности. Управляющий магнит представляет собой постоянный магнит с индукцией более ± 2 мТл. В режиме хранения или заряда

капсула помещается возле магнита, замыкая цепь от питания. В рабочем режиме капсула удаляется от действия магнитного поля.

2.5 Выбор аккумуляторов и преобразователей питания

Основные требования к аккумуляторам — это габариты, энергоёмкость и максимальный ток. Габариты аккумулятора не должны превышать диаметр в 12 мм.

Аккумуляторы GP M10-10 имеют характеристики, представленные в таблице 6 [15]. В отличие от остальных аккумуляторов подходящего диаметра, представленных на рынке данный продукт, имеет меньший объем и одновременно большую емкость.

Таблица 5 - характеристики аккумуляторов

Параметр	Значение	Размерность
Ёмкость ($C_{акк.}$)	55	мАч
Напряжение ($U_{акк.}$)	3,8	В
Габариты (ϕ x h)	10.4x10.4	мм
Максимальное напряжение заряда	4,35	В
Максимальный ток заряда	60	мА
Максимальный ток разряда	120	мА

Поскольку допустимые напряжения питания ПЛИС, матриц и светодиодов имеют различные значения, необходимо предусмотреть преобразователи питания из номинального напряжения аккумулятора в 3.6В - питание светодиодов [20] и ПЛИС [18] и 2.4 В - питание матриц [12].

2.6 Выбор способа заряда

Заряд аккумуляторов осуществляется с помощью устройства, преобразующего энергию радиоволн в энергию электрического тока. Такой способ предпочтительнее заряда посредством электромагнитной индукции, поскольку это позволит использовать уже имеющуюся антенну в качестве приемника энергии. Основные критерии выбора RF-DC преобразователя [17] это частотный диапазон, согласованный с антенной и компактность. Одновременный заряд аккумуляторов и передача данных исключены.

3 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ

3.1 Выбор способа модуляции

С точки зрения вероятности ошибки $BER=f\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$, BPSK - фазовая манипуляция превосходит остальные двухуровневые виды манипуляции ООК - амплитудная, MSK-частотная на 3дБ (Рисунок 6) [16].

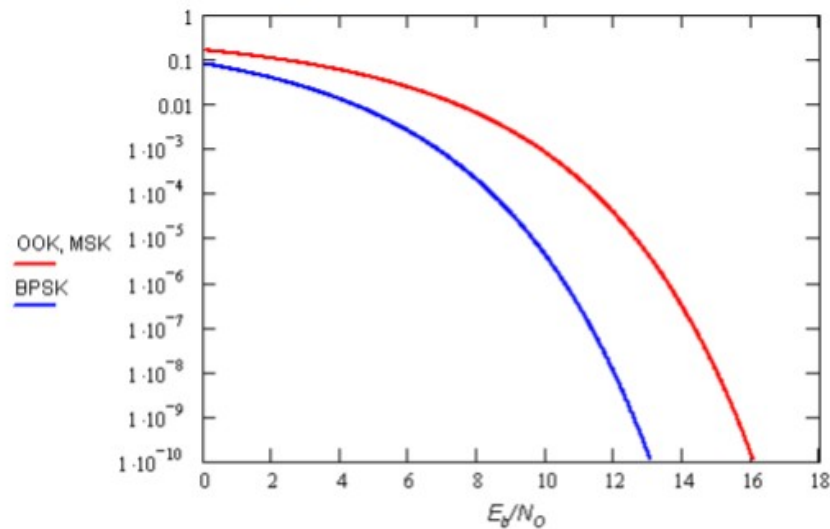


Рисунок 6 - зависимость вероятности битовой ошибки от

величины $\frac{E_b}{N_0}$

Где E_b - энергия, необходимая для передачи одного бита информации, N_0 - спектральная плотность мощности белого шума в канале [16].

Поэтому в данном решении, реализация радиопередачи используется двоичная фазовая манипуляция - BPSK, при которой каждому цифровому символу сопоставляется своя начальная фаза несущего колебания, при неизменной амплитуде. Низкому уровню бинарного сигнала советуется фаза 0° , высокому 180° .

Наименьшие потери при распространении радиосигнала в организме человека обеспечиваются в полосе 400-600МГц [13]. Зависимость коэффициента поглощения радиоволн от толщины тканей представлена на рисунке 7.

В решении используется петлевая антенна, нанесенная на поверхность капсулы (Рисунок 9 а, б) [13]. На частотах 430 МГц и 933 МГц у такой антенны коэффициент отражения системы антенна-фидер минимален (Рисунок 8а) [13]. Исходя из предыдущих соображений, частота несущей составляет 430МГц, а частота модуляции 43МГц.

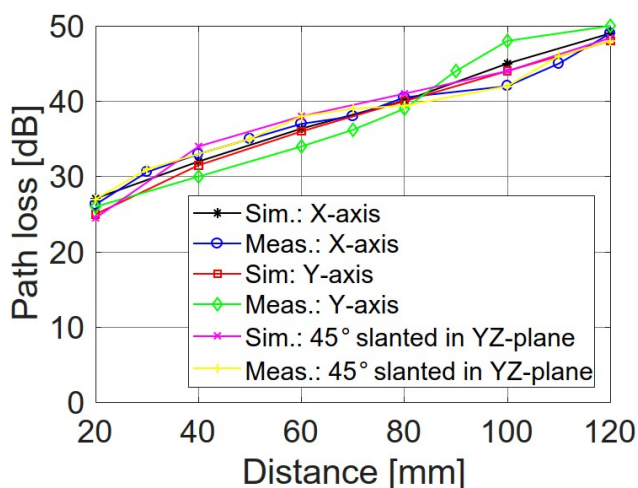


Рисунок 7 - экспериментальные зависимости и зависимости, полученные в результате симуляции потерь сигнала в Дб от толщины ткани в мм, при различной ориентации антенны [13]

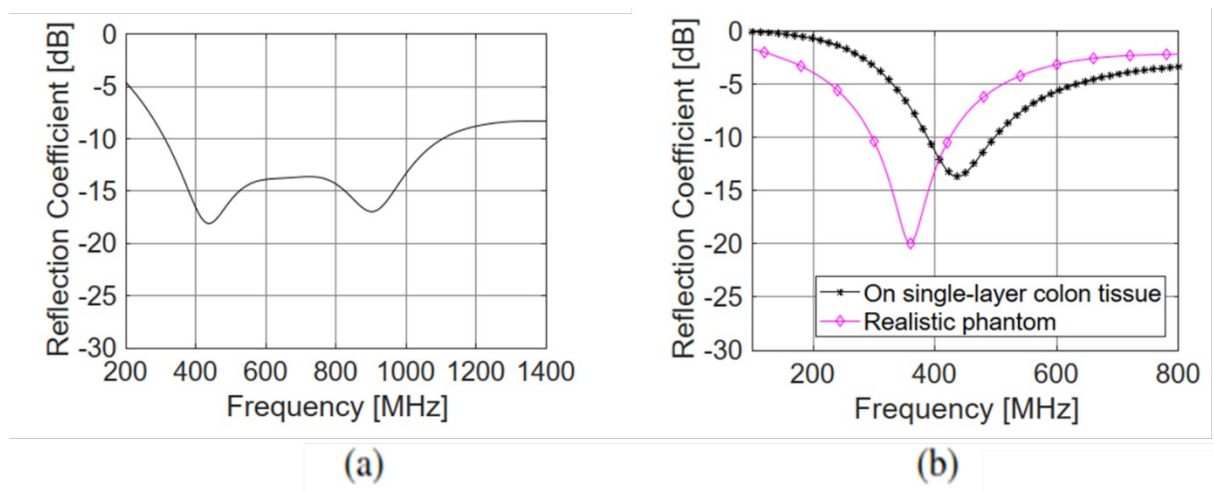


Рисунок 8 - коэффициент отражения антенны капсулы (а) и антенны на поверхности тела (b) [13]

Мощность сигнала на поверхности ткани, в месте установки приемной антенны, зависит от коэффициента отражения. Согласно [13] $K_{\text{отраж.дб}} = -17,5 \text{ Дб}$ для аналогичной конфигурации антенны (Рисунок 8а). Потери от ослабления радиоволн тканями определяются коэффициентом ослабления ($K_{\text{ослабления.дб}} = 50 \text{ дБ}$) (Рисунок 7). Рассчитаем долю

мощности 1 гармоники $\frac{P_1}{P_{\text{полн.}}}$ с помощью Фурье-преобразования:

$$\frac{P_1}{P_{\text{полн.}}} = \frac{\left(\frac{4U}{\pi}\right)^2}{2U^2} = 0.8(2)$$

Антенна управляется через LVDS порт ПЛИС, мощность которого составляет $P_{LVDS} = I_{LVDS}^2 \cdot R = 1,225 \text{ мВт}$. Тогда, учитывая все изложенные выше факторы, мощность сигнала в месте установки приемной антенны будет

$$P_{\text{поверх}} = P_{LVDS} \cdot K_{\text{ослабления}} \cdot (1 - K_{\text{отраж.}}) \cdot \frac{P_1}{P_{\text{полн.}}} = 9,43 \text{ нВт} (3)$$

Таким образом, мощность излучения, используемая в данном решении, отвечает требованиям безопасности [13].

Рассчитаем вероятность ошибки BER. Найдем отношение $\frac{C}{\Pi}$. Мощность теплового шума при $T=307K^\circ$ - температура тела, $R=50\text{ Ом}$ - сопротивление приемной антенны, $B = 86\text{ МГц}$ - полоса пропускания канала, равна:

$$\Pi = k \cdot T \cdot R \cdot B = 1.8 \cdot 10^{-11} \text{ Вт} \quad (4)$$

где k - постоянная Больцмана.

Найдем величину $\frac{E_b}{N_0}$ учитывая, что приемная антенна изотропна (пик усиления -18 дБи [13]), коэффициент отражения антенна-фидер $K_{\text{отраж.2}} = -20\text{ дБ}$ (Рисунок 8b), скорость передачи бит $R=43\text{ МГц}$, а ширина полосы пропускания $B = 86\text{ МГц}$. Коэффициент шума приемной антенны примем равным 7дБ.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C \cdot (1 - K_{\text{отраж.2}})}{\Pi} \cdot \frac{B}{R} - 7\text{ дБ} = 23.1\text{ дБ} \quad (5)$$

Тогда вероятность ошибки для BPSK сигнала равна [16]:

$$BER = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 5.339 \cdot 10^{-12} \quad (6)$$

Поскольку такой метод передачи данных при рассчитанном отношении сигнал/шум обладает низкой вероятностью ошибок, дополнительного помехоустойчивого кодирования не требуется.

Чувствительность приемника рассчитаем исходя из следующей формулы:

$$S = 10 \log \left(\frac{P_{\text{поверх}}}{1 \text{ мВт}} \right) = -50,26 \text{ Дбм} \quad (7)$$

Здесь используется приемная антенна, согласованная с антенной передатчиком, представленная на рисунке 9 с, d.

Зависимость коэффициента отражения от частоты представлена на рисунке 8b [13].

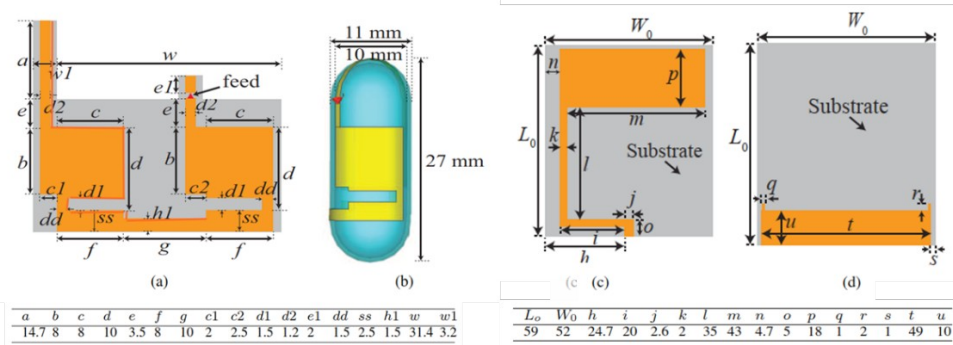


Рисунок 9 - а - антенна капсулы, б - антенна, нанесенная на поверхность, с, д - антенна внешняя, накладываемая на тело [13]

Антенна подключается к LVDS выходу ПЛИС. Согласование импеданса питающей линии и антенны обеспечивается самой конфигурацией нанесенной на поверхность антенны и фидера [13].

К плате антенна крепится посредством паечных точек. Предварительно она наносится на гибкую подложку из тугоплавкого прозрачного полимера и вместе с платой помещается внутрь капсулы.

3.2 Разработка устройства управления матрицами

Устройство управления будет синтезирована на языке Verilog описания и реализовано в ПЛИС. Функции, выполняемые этим устройством:

- 1) Управление питанием матриц и светодиодов.
- 3) Передача информации с матриц на внешнее устройство посредством антенны.
- 4) Задание конфигурации матриц.

Само устройство управления будет активироваться и деактивироваться с помощью магнитоуправляемого ключа.

Устройство управления матрицами является автоматом с конечным числом состояний. Устройство последовательно включает матрицы, синхронизируется, принимает 1 кадр с изображением, отправляет данные конфигурации и цикл повторяется. Конфигурация матриц необходима для задания времени экспозиции. Время экспозиции в этих матрицах устанавливается количеством сброшенных строк. Граф состояний автомата представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 - Граф состояний устройства управления матрицами

Сигнал «старт» поступает при коммутации герконового ключа. В самом начале процедуры устройство включается, пользователь убеждается, что сигнал с камер поступает на внешнее устройство, после чего капсула проглатывается. Таким образом, осуществляется тестирование устройства на работоспособность. Работу устройства можно прекратить, изменяя полярность управляющего магнита, сбросив тем самым сигнал «старт» в 0.

Камера NanEye 2D после каждого отправленного изображения ожидает в течение некоторого времени ответа от управляющего устройства, этим ответом и является состояние “Задание конфигурации”. Оно может быть проигнорировано, однако используется в данном случае для того, чтобы задать время экспозиции в следующем кадре. Задание экспозиции происходит в соответствии с формулой 5 [12]:

$$T_{\text{экс}} = \frac{\max[N_{\text{строк}} - N_{\text{строк.reset}}; 2]}{N_{\text{строк}}} \times T_{\text{чтен.}} \quad (8)$$

Где $T_{\text{экс}}$ – время экспозиции; $N_{\text{строк}}$ – количество строк; $N_{\text{строк.reset}}$ – количество сброшенных строк; $T_{\text{чтен.}} = 22,7 \text{ мс}$ – время чтения данных ячеек

Схема взаимодействия блоков управляющего устройства представлена на рисунке 13. Модуль `top_NanEye` – осуществляет управление камерами и светодиодами. Сигнал `reset` перед каждым включением матрицы сбрасывает все регистры и PLL устройства. Сигнал `config_done` служит для распознавания конца полного цикла работы с одной матрицы.

Модуль MUX коммутирует сигналы с матрицы на вход, а при начале цикла конфигурации коммутирует сигналы на выход. Сигнал `config_data` - сигнал конфигурации, `in_clk_data` - сигнал, поступающий с матриц.

Модуль `Clk_data_recovery` с помощью внутреннего PLL захватывает частоту тактирования матриц и разделяет сигнал с матриц `in_clk_data` на тактовый `clk` и информационный `data`. Сигнал `clk_data_locked` информирует о готовности посылать данные.

Модуль `deserialisator` записывает поступающие последовательные данные `data` в параллельные - `signal [11:0]`. Сигнал `done` информирует о поступлении новых 12 бит кадра с матриц.

Модуль `Antenna_ctrl` - управляет антенной. Осуществляет модуляцию с частотой большей, чем частота поступающих данных. Отправляет из регистра `signal [11:0]` на антенну пачками последовательный сигнал.

Модуль `picture_watch` с помощью сигнал `done` отсчитывая поступающие кадры следит за тем, когда матрица будет готова к конфигурации. По завершению цикла получения данных матрицы генерируется сигнал `picture_done`.

Модуль `serial_config` отвечает за конфигурацию матриц, он отправляет последовательным сигналом `config_data` заранее заданные биты конфигурации. Сигнал с `config_data` сопровождается высоким уровнем сигнала `config_done`. Спад `config_done` информирует о конце цикла конфигурации. Посылка конфигурации всегда для матриц значит одно - сбросить все ячейки в ноль для последующих снимков.

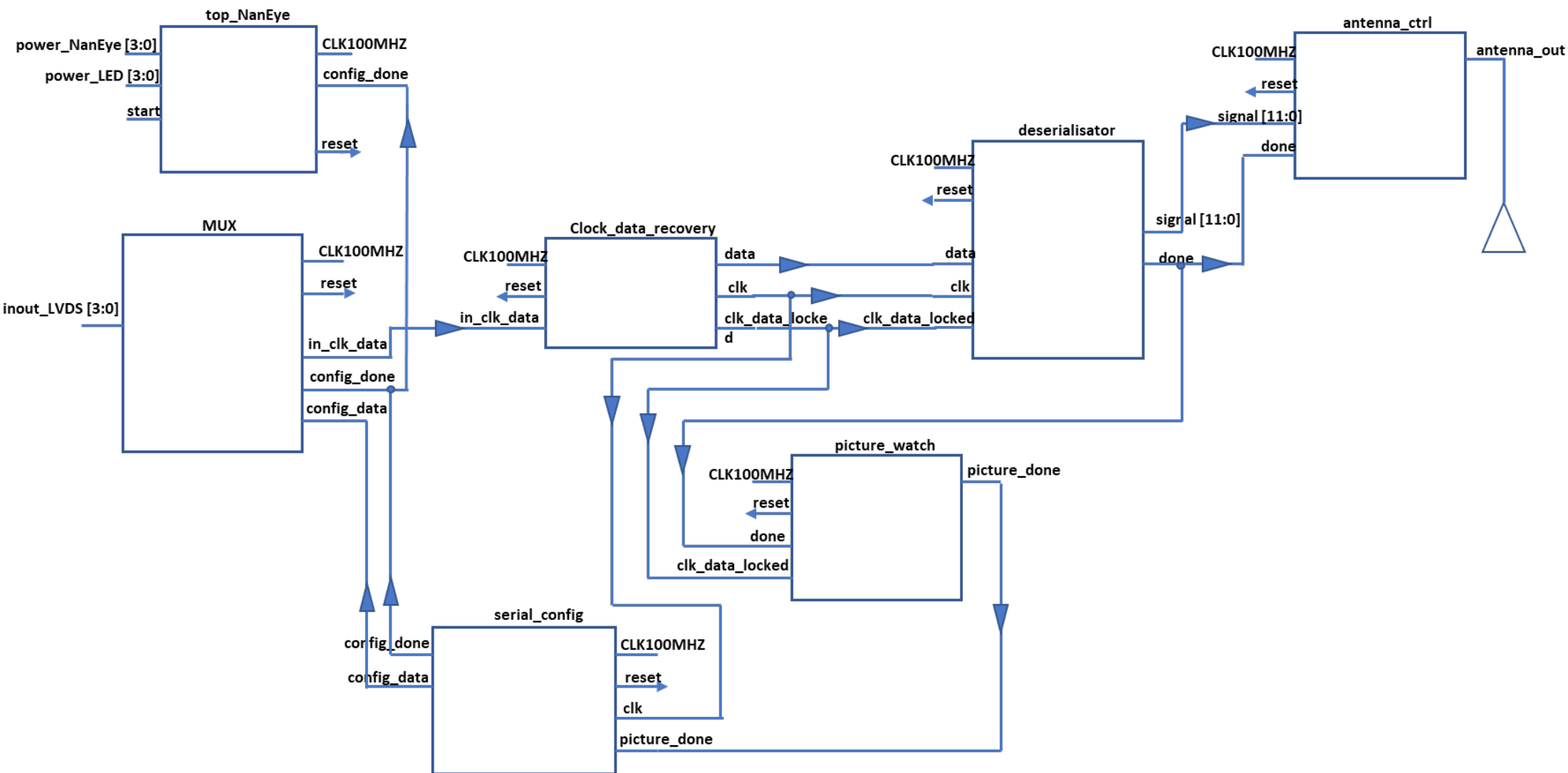


Рисунок 13 - Схема взаимодействия блоков устройства управления матрицами NanEye 2D

3.2.1 Разработка модуля top_NanEye

Модуль представляет собой автомат, реализующий следующую последовательность операций:

1) при поступлении сигнала активации start - модуль активирует одну из четырех камер - сигнал power_NanEye [3:0]

2) нижние модули обрабатывают сигнал с камеры и по завершению обработки посылают сигнал config_done - сигнал конца конфигурации

3) при поступлении сигнала config_done, модуль top_NanEye дожидается конца установки конфигурации, включенной ранее матрицы, и устанавливает reset в верхний уровень переключая питание на следующую матрицу.

4) активация каждой новой матрицы сопровождается активацией светодиодов power_LED [3:0]. По завершению времени экспозиции $T_{exp} = \frac{2}{250} \cdot 22.7 ms$, заданной заранее, сигнал power_LED [3:0] устанавливается в нижний уровень отключая светодиоды.

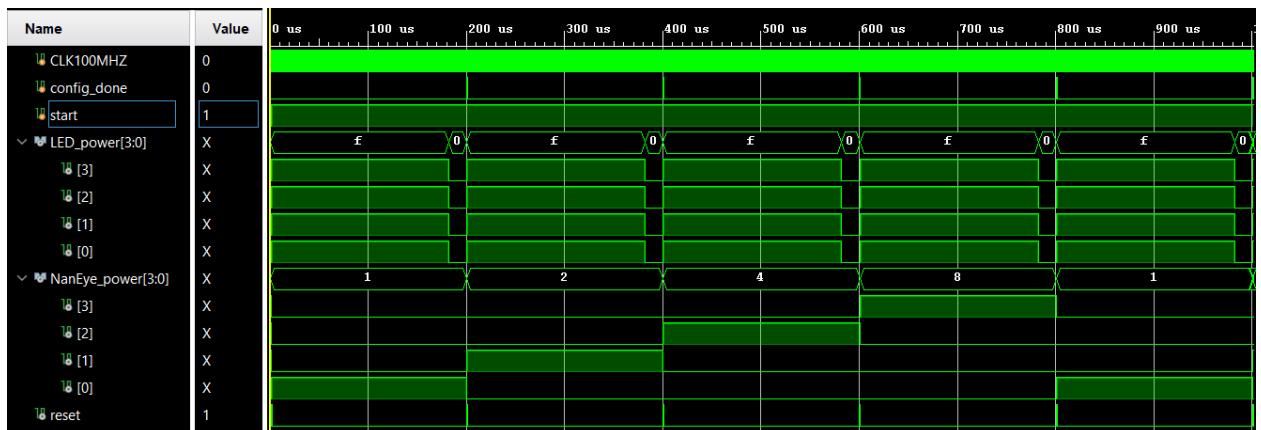


Рисунок 14 - эпюры сигналов модуля top-NanEye

Модуль top_NanEye имеет три счетчика (приложение А): один счётчик инкрементирует двух разрядный регистр count, значение которого соответствует текущей матрице, другой счетчик enable отсчитывает время экспозиции светодиодов, третий инкрементирует регистр timer и служит для задания паузы после конфигурации матрицы. Конструкция case - предназначена для последовательной подачи питания на матрицы.

3.2.2 Разработка модуля Clock_data_recovery

Модуль представляет собой автомат, реализующий следующую последовательность операций:

- 1) После включения одной из матриц, та приступает к синхронизации (фаза 253 - рисунок 20) [13]. В течение цикла синхронизации модуль Clock_data_recovery захватывает частоту тактирования матрицы.
- 2) Цикл синхронизации матрицы завершается молчанием длиной в три кадра (фаза 253а рисунок 20) в этот момент модуль Clock_data_recovery осуществляет разделение поступающих данных с матрицы на уже захваченный тактовый сигнал - clk и сигнал данных - data. Начало разделения сопровождается установлением выхода clk_data_locked в высокий уровень. Детектирование конца цикла синхронизации и начала цикла отправки данных матрицей осуществляется сравнением сигнала захваченной ранее частоты и новых поступающих данных. Как только поступающие данные in_clk_data отличаются от захваченного синхросигнала clk наступает процесс разделения данных data и синхросигнала clk.

3) перед каждым следующим циклом захвата синхросигнала все регистры и внутренний PLL сбрасывается сигналом reset

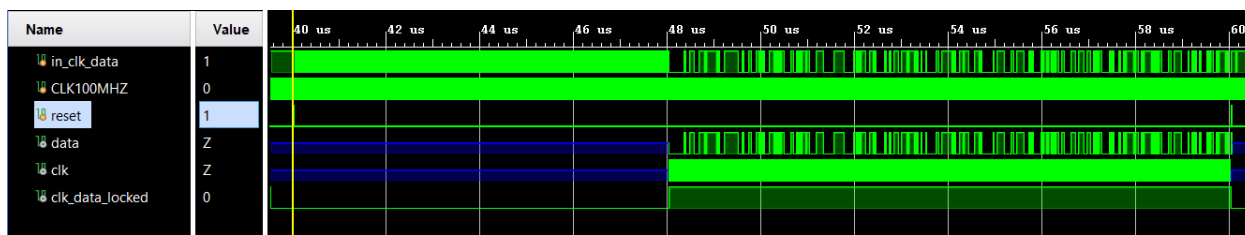


Рисунок 15 - эюры сигналов модуля Clock_data_recovery

Основная часть модуля Clock_data_recovery это PLL. На вход PLL подается сигнал синхронизации. При захвате частоты PLL генерирует сигнал locked который разрешает проверку условия несовпадения входного сигнала in_clk_data и сигнала, захваченного PLL - clk_out_pll. Как только эти сигналы отличаются друг от друга генерируется сигнал clk_data_locked и на выходе модуля Clock_data_recovery появляются захваченная частота clk и поступающие на вход данные data.

3.2.3 Разработка модуля MUX

Модуль представляет собой автомат, реализующий следующую последовательность операций:

1) при поступлении сигнала `reset` модуль MUX инкрементирует внутренний счетчик. Значение счетчика соответствует значению подключаемых портов `inout_LVDS [3:0]`.

2) фронт сигнала `config_done` информирует о начале передачи конфигурации на матрицу, спад сигнала `config_done` информирует о конце передачи конфигурации. В соответствии с этим порты `inout_LVDS [3:0]` - устанавливаются на выход (`config_done = 1`) или вход (`config_done = 0`)

3) `in_clk_data` - выход, по которому поступают сигналы синхронизации или данных с одной из матриц, `config_data` - вход, по которому поступают данные конфигурации на одну из подключаемых матриц.

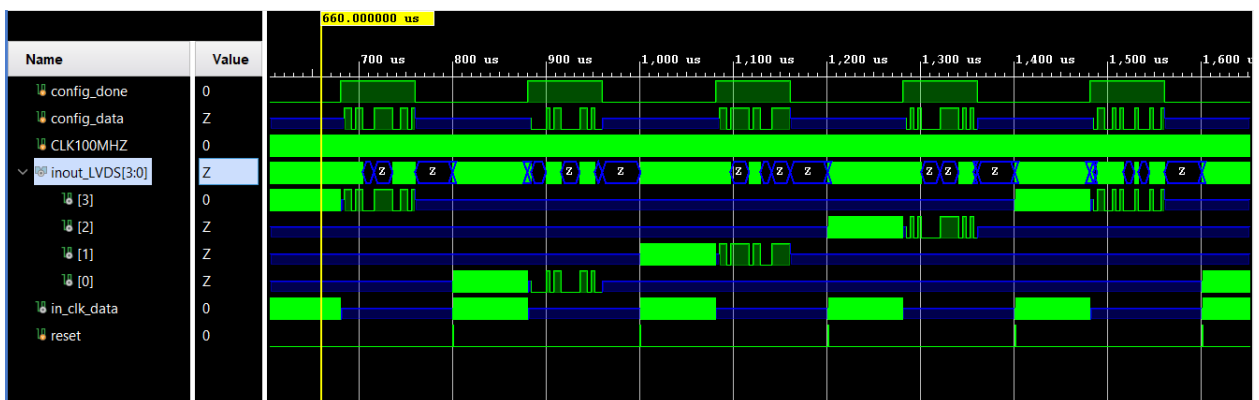


Рисунок 16 - эюры сигналов модуля MUX. Z - состояние в данном случае означает состояние при котором включена только одна матрица, в то время как остальные выключены.

Модуль MUX (приложение А) включает в себя счетчик count - инкрементируется при поступлении сигнала reset и конструкцию case, которая в зависимости от значения счетчика count с помощью регистров enable_1 - enable_4 запрещает или разрешает передачу и прием информации со входов, подключенных к матрицам (inout_LVDS). Положение сигнала config_done в нуле означает прием данных - сигнал in_clk_data (inout_LVDS устанавливается на вход), в 1 означает отправку данных - сигнал config_data (inout_LVDS устанавливается на выход).

3.2.4 Разработка модуля deserialisator

Модуль представляет собой автомат, реализующий следующую последовательность операций:

- 1) сигнал clk_data_locked разрешает работу модуля.
- 2) фронт сигнала clk сопровождается записью во внутренний 12 - разрядный регистр последовательного сигнала, поступающего со входа data.
- 3) каждые 12 тактов выходной регистр signal [11:0] принимает значение внутреннего регистра и выход done устанавливается в высокий уровень, после чего сбрасывается.
- 4) спад сигнала reset устанавливает в ноль значения всех внутренних регистров

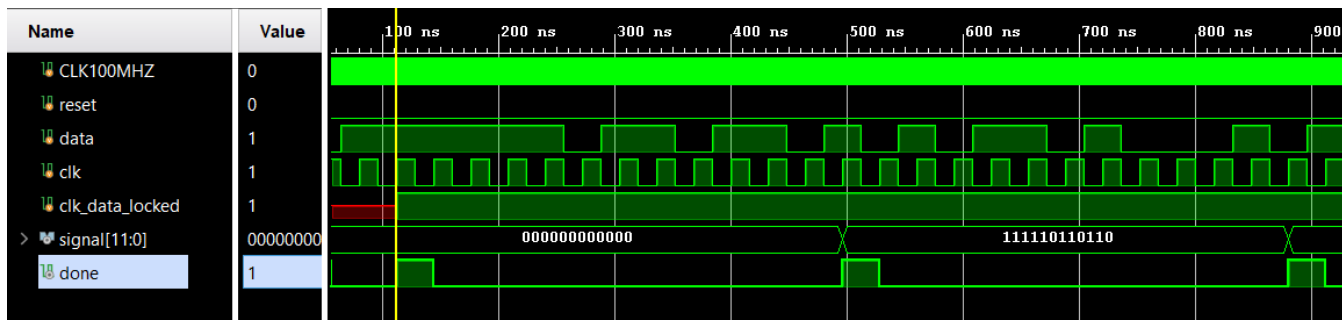


Рисунок 17 - эпюры сигналов модуля deserialisator

Модуль deserialisator (приложение А) при помощи конструкции case записывает в последовательные данные со входа data в регистр buff[11:0], при переполнении регистра переписывает его значения в выходной регистр signal[11:0] и устанавливает сигнал done в высокий уровень, сигнализируя тем самым последующим модулям о принятии полного кадра.

3.2.5 Разработка модуля Antenna_ctrl

Модуль представляет собой автомат, реализующий следующую последовательность операций:

1) При поступлении сигнала done разрешающего отправку сообщения модуль генерирует несущее колебание с частотой 430 МГц.

2) В соответствии со значениями битов в регистре signal [11:0] модуль с частотой 43 МГц меняет фазу на 180 градусов если значение очередного бита = 1 или не меняет фазу если значение очередного бита = 0. Частота 43 МГц была выбрана из условий:

- модулирующая частота должна быть кратна 430МГц, для исключения фазовых сдвигов, расширяющих спектр сигнала.
- модулирующая частота должна быть больше частоты 30МГц
- частоты получения информации с камер.

3) первый и последний бит всегда принимаются равными нулю вне зависимости от значений signal [11] и signal [0] – это старт и стоп биты из исходной посылки

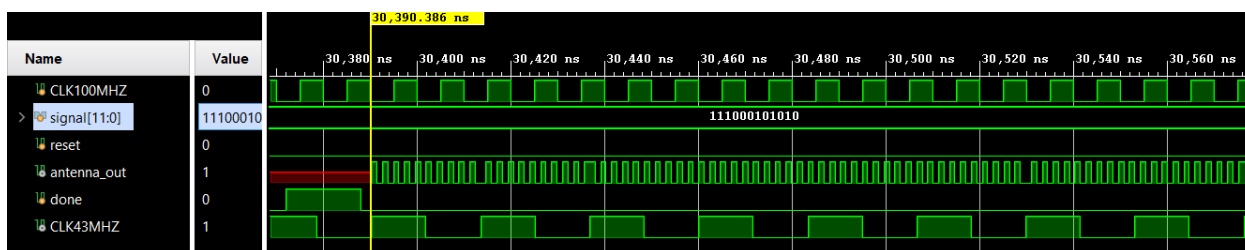


Рисунок 18 - эюры сигналов модуля Antenna_ctrl

Несущая частота 430МГц и огибающая 43МГц создаются с помощью PLL. Конструкция case осуществляет последовательное сравнение битов из регистра signal [11:0] с единицей. Если бит равен 1, то инвертируется значение flag, что фактически означает смену фазы несущего колебания 430МГц. Сигнал done в always блоке обнуляет счетчик count запуская заново цикл в конструкции case.

3.2.6 Разработка модуля picture_watch

Последовательность сигналов с камеры NanEye 2D представлена на рисунке 20. Один полный цикл работы матрицы делится на 253 фазы. Фаза 253, - фаза синхронизации, занимает 249 или 250PP. Фазы 1.1 – 250.2 и 253а - фазы отправки изображения занимают $1+(3+249) \cdot 250+4+248=63004$ PP. Фаза 252 - фаза приема конфигурации занимает 505 PP. Где PP – Pixel Period – время отправки значения 1 пикселя соответствует частоте 2.5МГц. Таким образом, для детектирования начала цикла конфигурации необходимо отсчитать 63004 кадра от момента завершения цикла синхронизации.

1) вход `clk_data_locked` разрешает модулю `picture_watch` инкрементировать значения внутреннего регистра каждый раз при поступлении сигнала `done`.

2) когда значение внутреннего регистра достигает 63004 на выход `picture_done` подается высокий уровень. Сигнал означает конец цикла приема изображения или начало цикла передачи конфигурации.

3) спад сигнала `reset` сбрасывает значение всех регистров модуля `picture_watch`

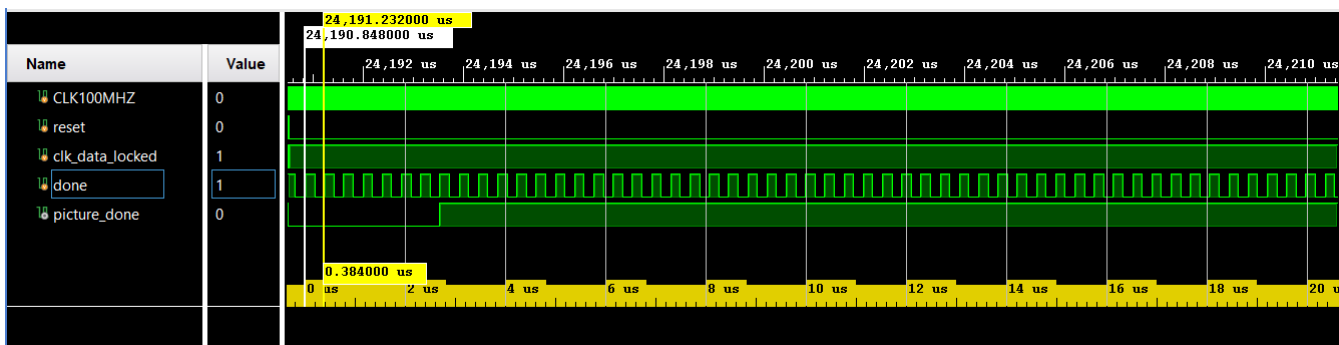


Рисунок 19 - эпюры сигналов модуля `picture_watch`. Сигнал `picture_done` сформировался в момент времени

$$24\,1935\,us = 0.384\,us \cdot 63004$$

Фронт сигнала `done` в модуле `picture_watch` инкрементирует регистр `count` до значения 63004, после чего счетчик `count` останавливается поскольку срабатывает условие, устанавливающее регистр `flag` в 1, который в свою очередь запрещает инкремент. Сигнал `picture_done` устанавливается в высокий уровень.

Phase #	Status	Start Bit	Data XOR	Interface Status	Duration	Function
1.1	Transmission of continuous 0	0	Yes	LVDS out	3 PP ⁽¹⁾	Row 1 Readout
1.2	Transmission of 249 pixel values (first pixel is black)	1	Yes	LVDS out	249 PP	
2.1	Transmission of continuous 0	0	Yes	LVDS out	3 PP	Row 2 Readout
2.2	Transmission of 249 pixel values (first pixel is black)	1	Yes	LVDS out	249 PP	
Readout of all 250 rows, repeat x.1 and x.2 consecutively						
250.1	Transmission of continuous 0	0	Yes	LVDS out	3 PP	Row 250 Readout
250.2	Transmission of 248 pixel values (first pixel is black)	1	Yes	LVDS out	248 PP	
251	Transmission of continuous 0	0	No	LVDS out	4 PP	Indication for end of frame
252	Time for Serial configuration ⁽²⁾	--	--	Serial configuration input	505 PP	Register configuration
253	Transmission of synchronization pattern before start of frame, continuous 0	0	Yes	LVDS out	249 - 250 PP	Resynchronization with sensor data & pixel clock
253a	At the end of the synchronization pattern, a random bit sequence (can be all 0) is transmitted while switching to the first start of line identification.	X	Yes	Change to readout state	1 PP	Change of state; do filter this word and ignore it.
Restart at 1.1						

Рисунок 20 - последовательность посылок с матрицы NanEye 2D [12]

3.2.7 Разработка serial_config:

Кроме всего прочего конфигурация позволяет сбросить строки в матрице, сокращая тем самым время экспозиции следующего кадра [12]. Конфигурация матрицы задается в соответствии с последовательностью, представленной на рисунке 22. Первые 4 бита всегда 1001, потом всегда следует 000, и 16 бит непосредственно команды. Эти 16 бит задаются согласно рисунку 23. Полностью последовательность конфигурации имеет вид 1001 000 10 10 01 10 1111 1000.

- 1) фронт picture_done инициирует отправку битов конфигурации по последовательному порту config_data.
- 2) отправка config_data сопровождается высоким уровнем сигнала config_done.
- 3) фронт picture_done устанавливает внутренний регистр enable в 0. Данный регистр разрешает передачу данных конфигурации config_data.
- 4) фронт reset вновь устанавливает enable в 1 разрешая следующую передачу.

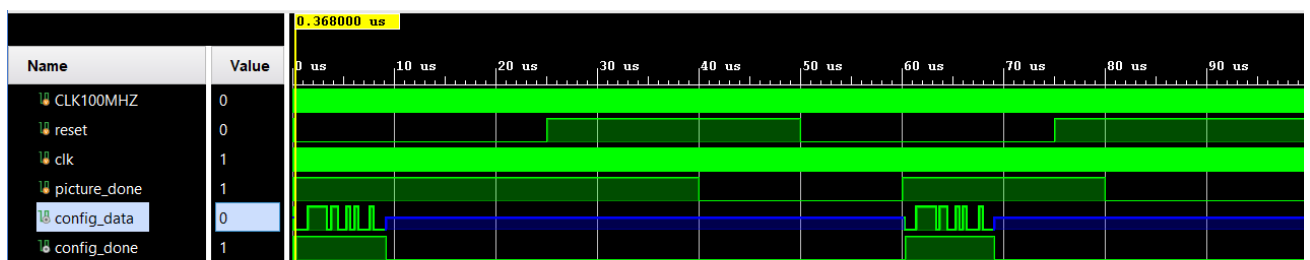


Рисунок 21 – эюры сигналов модуля serial_config

Конструкция case в модуле serial_config с частотой 2.5МГц (частота, полученная посредством деления входной частоты clk), последовательно назначает на выход config_data биты из

регистра conf [22:0]. Передачу разрешает регистр enable, который устанавливается в конце цикла в 0. Сигнал reset вновь разрешает цикл, устанавливая enable в 1.

# rising edge of SCL after reset	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	22	23	24
Function	update code				register address			register content (16 bit)				reset	
Content	1	0	0	1	0	0	0	MSB				LSB	

Рисунок 22 - последовательность бит конфигурации матрицы NanEye 2D [12]

Addr: 00h		Configuration		
Bit	Bit Name	Default	Access	Bit Description
15:14	VREF_CDS[1:0]	10b	WO	Sets CDS reference voltage: 0: 1.3V 1: 1.4V 2: 1.5V (recommended) 3: 1.6V
13:12	VRST_PIXEL[1:0]	10b	WO	Sets pixel reset voltage: 0: 1.2V 1: 1.3V (recommended) 2: 1.4V (do not use)⁽¹⁾ 3: 1.5V (do not use)
11:10	OFFSET[1:0]	01b	WO	Sets ADC ramp offset (dark level): 0: Low 1: Default 2: Mid 3: High
9:8	INVERSE_GAIN[1:0]	10b	WO	Sets inverse ADC ramp gain: 0: Gain = 3 1: Gain = 2 2: Gain = 1 3: Gain = 0
7:0	ROWS_IN_RESET[7:0]	01h	WO	Sets number of rows in reset (exposure time): 0: 0 rows 1: 1 row 2: 2 rows ... 248: 248 rows 249: do not use ... 255: do not use

Рисунок 23 - детальное описание управляющих бит конфигурации матрицы NanEye 2D [12]

3.3 Выбор метода задания конфигурации ПЛИС

Загрузка конфигурации ПЛИС происходит на этапе сборки печатной платы. После установки на печатную плату через порт JTAG программируется память ПЛИС из которой впоследствии при подаче питания на устройство загружается конфигурация. Для загрузки данных по JTAG на плате предусмотрен специальный соединитель, выполненный в виде контактных площадок. (Рисунок 24). [18].

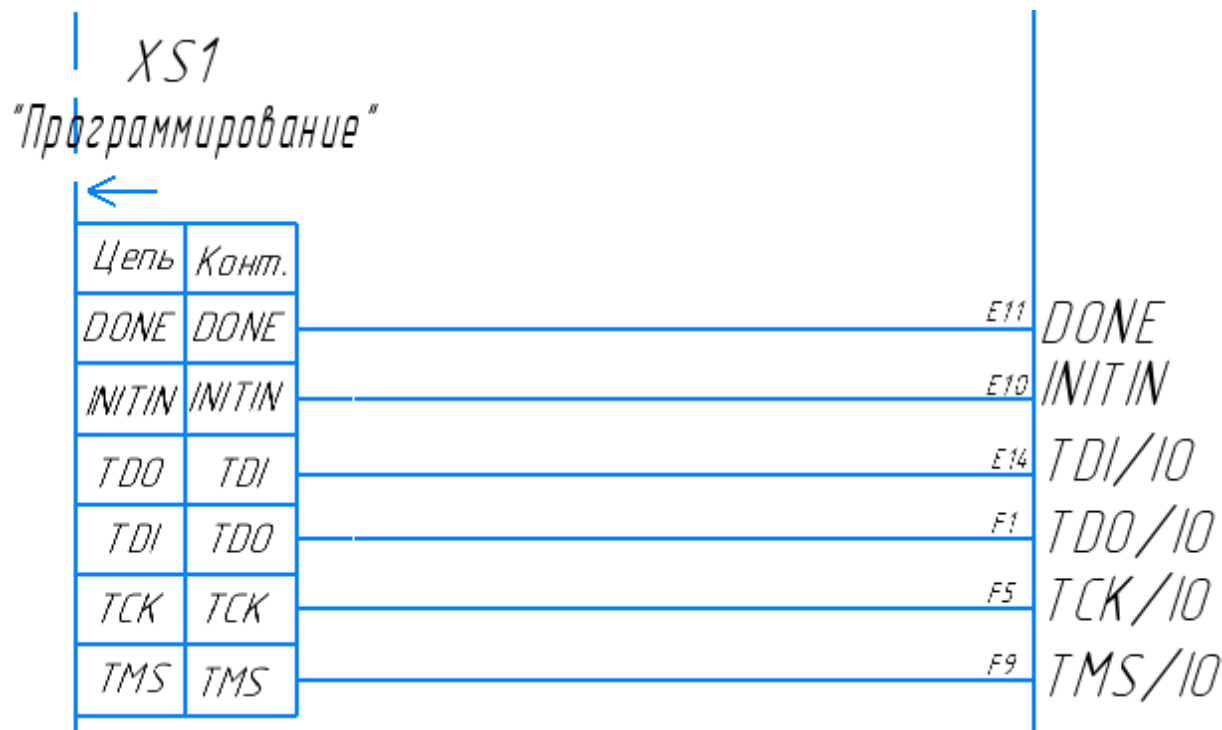


Рисунок 24 - контакты для конфигурации ПЛИС после монтажа [18]

Данные конфигурации записываются во внутреннюю память ПЛИС, при подаче питания ПЛИС автоматически и конфигурируется [18].

ПЛИС тактируется от внутреннего резонатора. При подаче питания внутренний резонатор настроен на частоту 2.02МГц, а после завершения конфигурации частота задаётся равной 133МГц [18].

Питание ПЛИС подключено к DC-DC преобразователю с выходным напряжением 3.6В. Выводы питания оснащены блокировочными конденсаторами C1, C2 емкостью 0.1 мкФ и 1нФ выбираются 01016D104M2A-0.1мкФ-6.3В±20% и 0101ZD101M2A-100пФ-10В±20% соответственно [25].

Вывод ПЛИС CRESET подключается, согласно технической документации, Рисунок 25 [18]. Резистор R10 и конденсатор C9 используются RC0201JR-072K2RL-0.05Вт-2,2КОм±5% и 01016D104M2A-0.1мкФ-6.3В±20% соответственно.

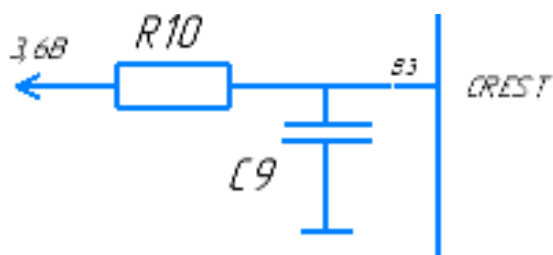


Рисунок 25 - подключение вывода CRESET ПЛИС [18]

3.4 Выбор схемы переключения режимов антенны и аккумулятора

К дифференциальным выводам ПЛИС антенна подключается через MEMS ключи D9, D10 (Рисунок 26). Аккумулятор подключен к схеме через нормально замкнутый герконовый ключ SF1, управляемый внешним магнитом. Переключение между режимами необходимо для того, чтобы RF-DC преобразователь не шунтировал антенну при передаче, а аккумулятор не разряжался при хранении.

В режиме передачи антенна подключена к портам ПЛИС, а аккумулятор подключен к схеме питания через замкнутый контакт SF1. Схема заряда при этом неактивна и отключена от аккумулятора запертым диодом VD5. В режиме заряда, когда капсула находится рядом с внешним магнитом, антенна отключается от выводов ПЛИС и подключается к RF-DC преобразователю PCC114, а аккумулятор отключается от потребителей (матриц, светодиодов) и подключается к контроллеру заряда D6, ключ SF1 разомкнут.

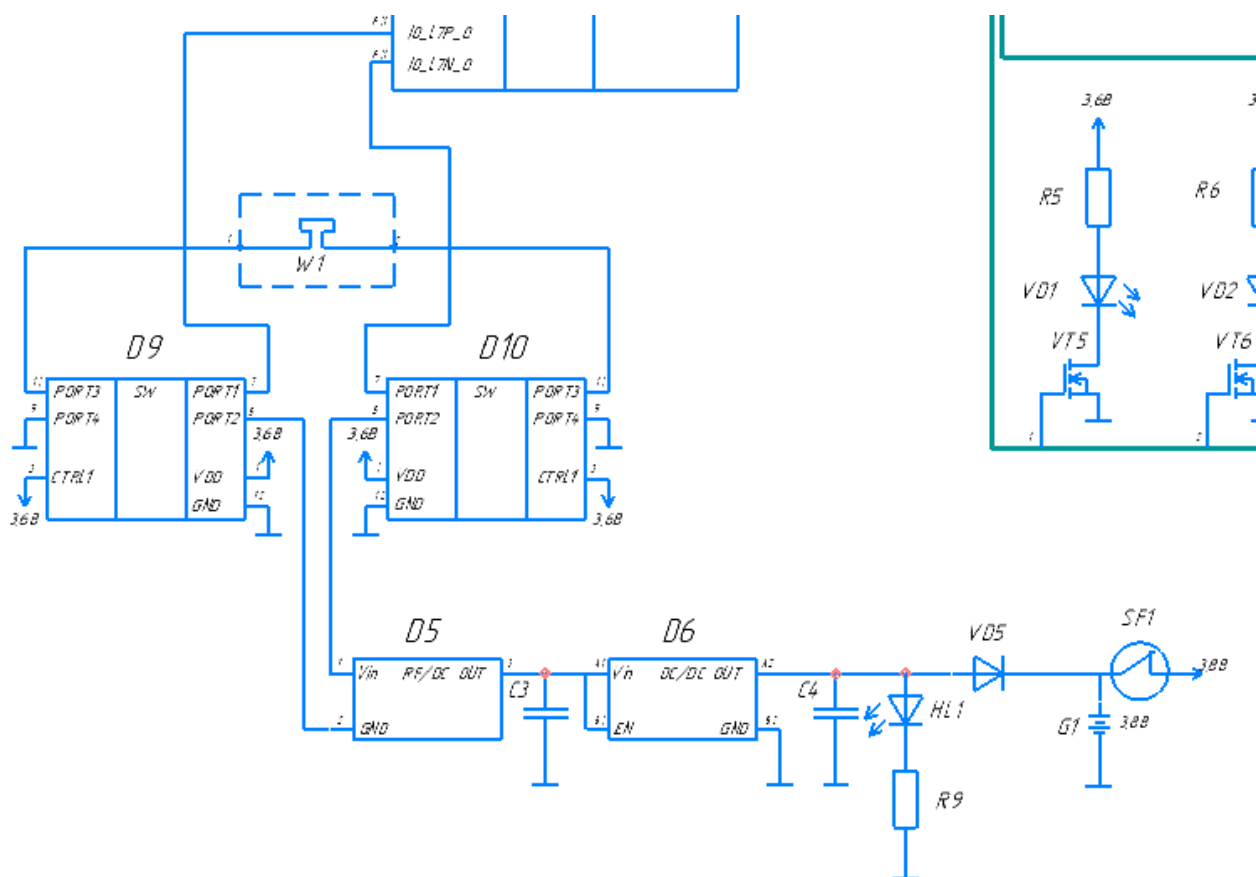


Рисунок 26 - подключение схемы переключения режимов заряда

MEMS ключи - SKY13699-21 в корпусе размером 1.15x1.15x0.59 мм.

Переключение между режимами будет управляться герконовым ключом R5B-S-5-12. Подключение ключа проводится согласно рисунку 25 [27]. Диод VD5 выбран из условия минимального тока утечки в запертом состоянии с целью обеспечения минимального разряда аккумулятора в режиме хранения.

Диод VD5 препятствует разряду аккумулятора в режиме хранения, используется BAT30F4 с малым обратным током 2.2мкА и прямым напряжением $U_{VD6}=0.27V$ [23]. Тогда время

хранения капсулы равно $t_{\text{разряд}.100\%} = \frac{C_{\text{акк.}}}{2,2 \text{ мкА}} = 2.8 \text{ лет}$ - при полном разряде. $t_{\text{разряд}.10\%} = 3.4$ месяца для 10% разряда.

Схема индикации заряда, состоящую из резистора R9, диода и светодиода, подключена согласно рисунку 26.

Резистор R9 - RC0201JR-07430RL-0.05Вт-

430Ом±5%номиналом $R9 = \frac{U_{\text{ном}} - U_{\text{ном}}}{3 \text{ мА}} = 430 \text{ Ом}$, где прямое

напряжение светодиода SMD0402PGC $U_{\text{ном}} = 3.1 \text{ В}$ [20],

$U_{\text{ном}} = 4,5 \text{ В}$ [26].

3.5 Выбор RF-DC преобразователя

Разумно выбрать RF-DC преобразователь PCC114 с характеристиками, представленными в таблице 6 [17].

Таблица 6 - характеристики PCC114 [17]

параметр	значение	размерность
КПД	до 75%	
диапазон частот	100MHz-6GHz	
диапазон мощности	-17...20	Дбм
входное сопротивление	50	Ом
размер	1x0.6x0.3	мм
выходное напряжение	4,2	В
выходной ток	100	мА

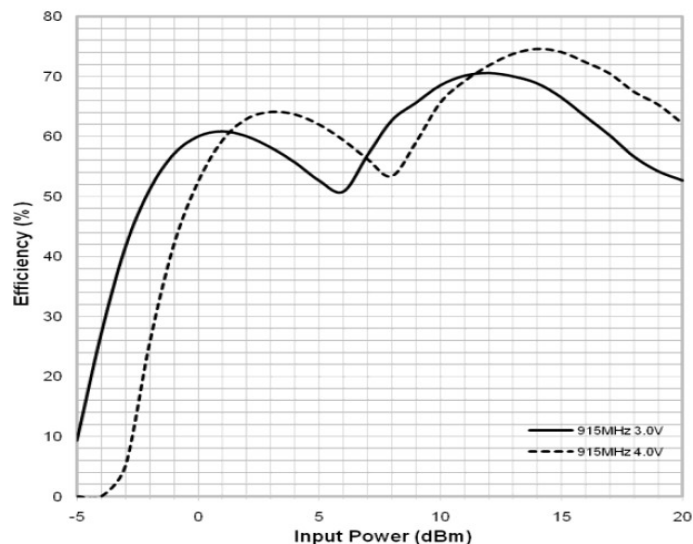


Рисунок 27- зависимость КПД от частоты и входной мощности [17]

Наибольший КПД достигается, когда на вход преобразователя поступает сигнал с частотой 915 МГц (Рисунок 27). На этой же частоте коэффициент отражения антенны минимален и составляет $K_{отраж.дб} = -17,5$ Дб (Рисунок 8). Мощность от системы антенна - преобразователь ($P_{заряд.}$) в этом случае составит $100 мВт \cdot 0,62 = 62 мВт$

Тогда время $t_{\text{заряд}}$ заряда составит:

$$t_{\text{заряд}} = \frac{C_{\text{акк.}} \cdot U_{\text{акк.}}}{P_{\text{заряд}}} = 3.6 \text{ часа} \quad (9)$$

где $C_{\text{акк.}} = 55 \text{ мАч}$, $U_{\text{акк.}} = 3,8 \text{ В}$ [15].

Подключается согласно документации [17] - рисунок 28. Микросхема D6 - контроллер заряда выбирается в компактном корпусе 0.65x0.65 мм NCP160BFCS450T2G. Номинальное напряжение контроллера $U_{\text{заряд}} = 4,5 \text{ В}$ Подключается согласно [26].

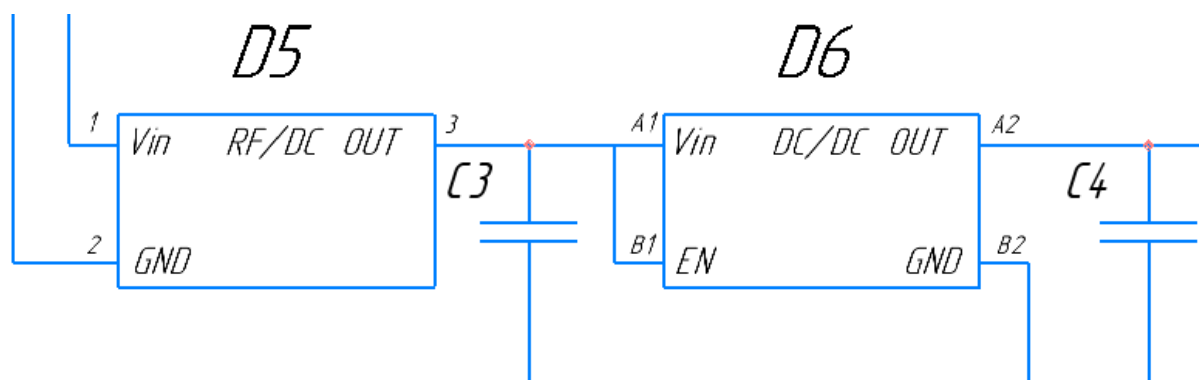


Рисунок 28 - схема подключения RF-DC преобразователя [17,26]

Конденсаторы C3 и C4 в данном случае выбираются емкостью 22мкФ и 1мкФ. Здесь используются элементы 04026D225M2A-22мкФ-6.3В±20% и 02016D105M2A-1мкФ-6.3В±20% [25].

3.6 Подключение матриц NanEye 2D

Входные порты соединяются, согласно рисунку 29 [12].

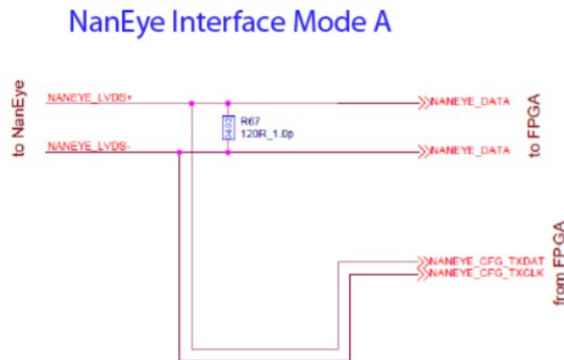


Рисунок 29 - подключение матриц и ПЛИС [12]

Резисторы выбираются RC0201JR-07120RL-0.05Вт-120Ом±5%[24].

По данным технической документации матриц NanEye 2D во внешних согласующих элементах они не нуждаются [12].

Управление питанием матриц осуществляется посредством Р – канальных полевых транзисторов в ключевом режиме. Целесообразно выбрать транзисторы FK4B01110L, которые имеют габаритные размеры 0.60 x 0.60 x 0.37 мм [19]. Подключаются согласно рисунку 30. Затвор соединен напрямую к управляющему выводу ПЛИС.

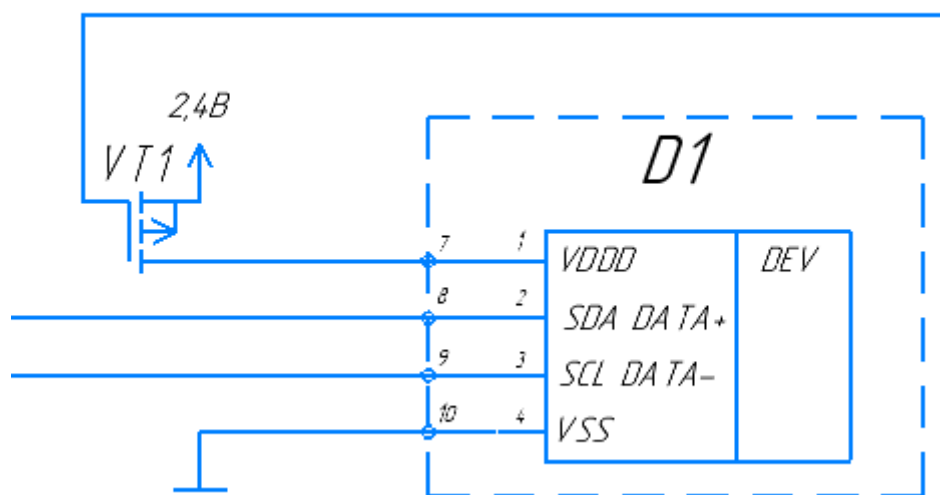


Рисунок 30 - подключение ключей к матрицам NanEye 2D

3.7 Выбор светодиодов

Основным требованием при выборе светодиодов является их малые габариты, потребление и одновременно высокая сила рассеивания.

В решении применяются белые импульсные светодиоды SM0402UWC, размером 0.5x1x0.5мм и углом излучения 130° и номинальным напряжением 3,1В, которые удовлетворяют основным требованиям. Характеристики сведены в таблицу 5 [20].

Таблица 7 -характеристики искусственного источника освещения

Параметр	Значение	Размерность
Размер	0.5x1x0.5	мм
Прямой номинальный ток $I_{ном}$	20	мА
Номинальное напряжение $U_{ном}$	3,1	В
Угол излучения	130	град.
Цвет	белый	

Сила рассеивания	600	mcd
Рабочая температура	-40...+85	°C

Управление светодиодами осуществляется с помощью полевых MOSFET транзисторов NX7002BKH в корпусе 0.62x0.62x0.37 мм [27], схема подключения представлена на рисунке 31. Затвор подключен напрямую к управляющему выходу ПЛИС. Номинал резисторов выбран равным

$R_8 = \frac{U_{пит} - U_{ном}}{I_{ном}} = 24 \text{ Ом}$ из ряда номиналов E24. Выбор сделан в пользу RC0201JR-0724RL-0.05Вт-24Ом±5% [24].

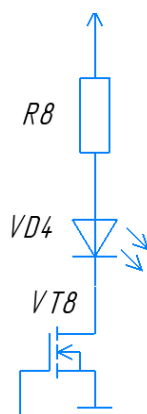


Рисунок 31 - подключение светодиода

3.8 Подключение DC-DC преобразователей

Основным критерием в выборе преобразователей является их размер. Преобразователи RP605Z3 имеют габариты 2.315 x 1.71 x 0.36 мм и высокий коэффициент полезного действия близкий к 100% [21]. Подключаются согласно рисунку 32 [21].

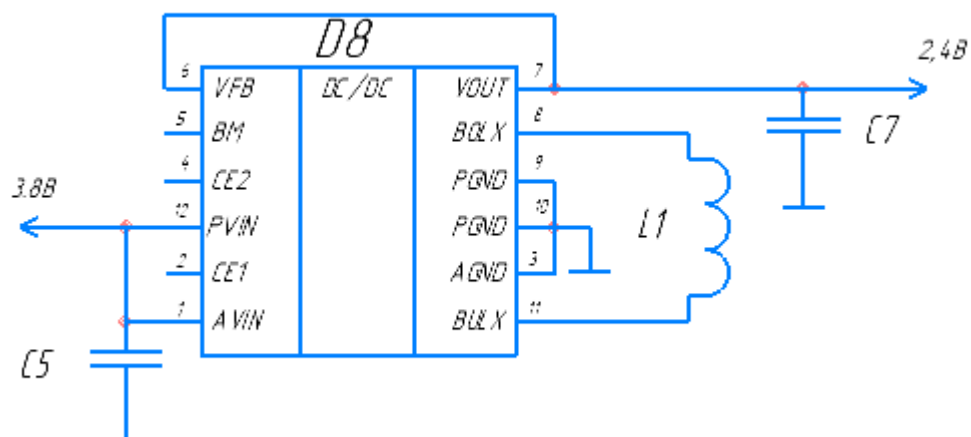


Рисунок 32 - схема включения DC-DC преобразователей [21]

Из технической документации [21] следует, что номиналы конденсаторов равны 22мкФ, а номинал индуктивности дросселя 2.2 мкГн. Целесообразно выбрать 04026D225M2A-22мкФ-6.3В±20% и LK10052R2M-TV-2.2мкГн±20% соответственно [25].

3.9 Расчёт времени работы

Для расчёта потребления учтем алгоритм работы устройства, а именно какую часть времени будет функционировать тот или иной узел.

Исходя из алгоритма работы NanEye 2D (Рисунок 20) [12] время отправки одного кадра составляет $(251+(250 \times 254)+4+505) \cdot PP$, где PP -Pixel Period = $\frac{1}{2.5 \text{ MHz}}$. Капсула отправляет по 5 кадров в секунду с каждой из четырех матриц. Вычислим какую часть времени работает этот узел.

$$T_{NanEye} = (251 + (250 \times 254) + 4 + 505) \cdot PP \cdot 5 \cdot 4 = 0,52 \text{ с} \quad (10)$$

Вычислим сколько времени тратится при передаче информации на внешнее устройство. Кадр размером 249x250 с глубиной цвета 10 бит, отправляется посредством частотной модуляции с частотой 43МГц. Тогда 5 кадров с каждой из 4х матриц будут отправлены в течение:

$$T_{LVDS} = (249 \times 250) \cdot \frac{1}{43 \text{ MHz}} \cdot 10 \cdot 5 \cdot 4 = 0,415 \text{ с} \quad (11)$$

Время экспозиции задаётся равным $T_{\text{экс}} = 181,6 \text{ мкс}$ [12].

Потребление ПЛИС рассчитаем с помощью программного обеспечения Vivado Design Suite (Рисунок 33).

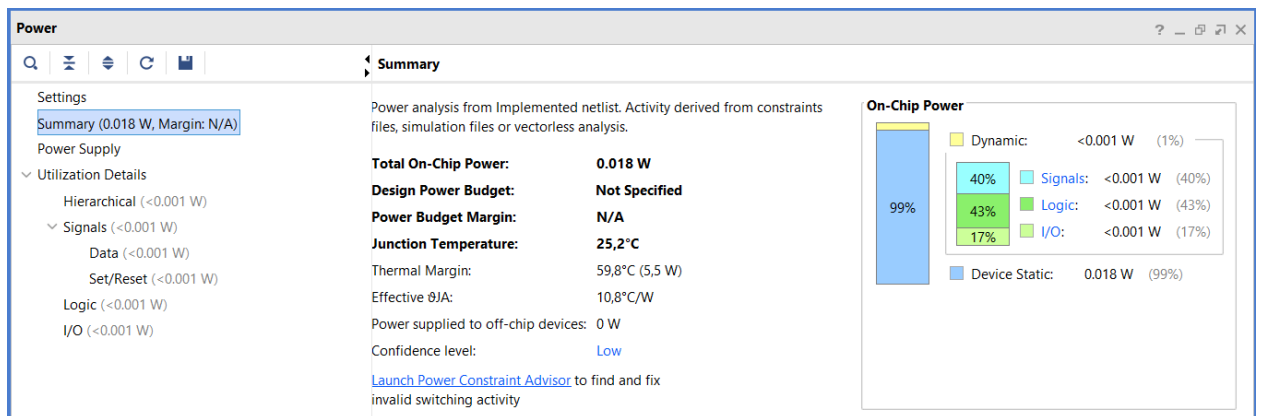


Рисунок 33 - расчет потребления ПЛИС

Получили $P_{\text{ПЛИС}} = 18 \text{ мВт}$.

Теперь рассчитаем потребление всего устройства, учитывая время работы отдельных узлов.

$$P_{\text{капсул}} = P_{\text{NanEye}} \cdot \frac{T_{\text{NanEye}}}{1 \text{ с}} + P_{\text{LVDS}} \cdot \frac{T_{\text{LVDS}}}{1 \text{ с}} + I_{\text{свет.ном}} \cdot U_{\text{свет.ном}} \cdot \frac{T_{\text{экс}}}{1 \text{ с}} + P_{\text{ПЛИС}} = 20,7 \text{ мВт} \quad (12)$$

где, $P_{\text{NanEye}} = 4,2 \text{ мВт}$, $P_{\text{LVDS}} = 1,225 \text{ мВт}$, $I_{\text{свет.ном}} \cdot U_{\text{свет.ном}} = 4 \cdot 20 \text{ мА} \cdot 3,1 \text{ В}$,
 $P_{\text{ПЛИС}} = 18 \text{ мВт}$

Тогда время автономной работы капсулы:

$$T_{\text{капсул}} = \frac{C_{\text{акк.}} \cdot U_{\text{акк.}}}{P_{\text{капсул}}} = 10,1 \text{ часа} \quad (13)$$

4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ С КАПСУЛОЙ

- 1) Алгоритм работы капсулы аналогичен графу состояний на рисунке 11.
- 2) После включения капсулы информация поступает последовательно с каждой камеры, начиная с фронтальной. Несущая частота сигнала 430МГц. Фазовая манипуляция происходит на частоте 43МГц. Сдвиг фазы 180° соответствует "1" сдвиг фазы 0° соответствует "0".
- 3) Каждая посылка состоит из 12 бит. Первый и последний бит = 0. 10 бит кодируют значения каждого пикселя с матрицы. Между посылками передача прекращается.
- 4) Значения пикселей посылаются согласно рисунку 20 из технической документации матриц NanEye 2D [12], минуя фазы 252 и 253.
- 5) Перед применением рекомендуется провести тестирование капсулы, включив камеру убедиться, что та посылает информацию с матриц.
- 6) Капсула активируется и деактивируется с помощью магнита. Деактивация и активация соответствует помещению капсулы в магнитное поле или удалению из него.
- 7) Капсула может быть использована повторно, после заряда.
- 8) Капсула заряжается с помощью встроенного RF-DC преобразователя. Заряд рекомендуется проводить на частоте радиоволн 933МГц. Время полного заряда от 4 часов.
- 9) Заряд необходимо проводить при деактивированной капсуле, в присутствии постоянного магнитного поля.
- 10) При окончании заряда загорается зеленый индикатор, после чего рекомендуется прекратить заряд.

11) Перед непосредственным применением необходимо активировать капсулу, отсоединив магнит и проверить передачу данных поместив капсулу в специальный контейнер, обеспечивающий затухание, сравнимое с затуханием в теле пациента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результатом проделанной работы стало устройство для капсульной эндоскопии, способное вести съемку как стенок кишечника, получая панорамное, так и просвета кишечника, получая фронтальное изображения. Длительность работы получившейся схемы составляет до 10.1 часов, при непрерывной панорамной и фронтальной съемки со скоростью более 25 кадров в секунду и разрешением 249x250 пикселей. Как и требовалось устройство может быть заряжено и применено повторно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Маев И. В., Самсонов А. А. Болезни двенадцатиперстной кишки. М.: МЕДпресс-информ, 2005—512 с ISBN 5-98322-092-6. Гл. 1. Морфологические особенности двенадцатиперстной кишки.
2. Van de Bruaene C, De Looze D, Hindryckx P. Small bowel capsule endoscopy: Where are we after almost 15 years of use? *World J Gastrointest Endosc* 2015; 7(1): 13-36
3. Robert Koprowski. Overview of technical solutions and assessment of clinical usefulness of capsule endoscopy. *Koprowski BioMed Eng OnLine* (2015) 14:111 DOI 10.1186/s12938-015-0108-3
4. David Tenembaum, Cristina Sison, Moshe Rubin. Accuracy of community based video capsule endoscopy in patients undergoing follow up double balloon enteroscopy. *World J Gastrointest Endosc* 2013 April 16; 5(4): 154-159 ISSN 1948-5190
5. Hong S. P., Cheon J. H., Kim T. I. et al. Comparison of the diagnostic yield of «MiroCam» and «PillCam SB» capsule endoscopy. *Hepatogastroenterology*. 2012; 59: 778-781.
6. Cave D. R., Fleischer D. E., Leighton J. A. et al. Amulticenter randomized comparison of the Endocapsule and the Pillcam SB. *Gastrointest Endosc*. 2008; 68: 487-494.
7. Hale MF, Sidhu R, McAlindon ME. Capsule endoscopy: Current practice and future directions. *World J Gastroenterol* 2014; 20(24): 7752-7759

8. Park S, Chun HJ, Keum B, Seo YS, Kim YS, Jeon YT, Lee HS, Um SH, Kim CD, Ryu HS. Capsule Endoscopy to Detect Normally Positioned Duodenal Papilla: Performance Comparison of SB and SB2. *Gastroenterol Res Pract.* 2012;2012:202935.
9. М.М. Лохматов, Т.Н. Будкина, В.И. Олдаковский, Е.Ю. Дьяконова, А.С. Потапов. Первый опыт применения у детей инновационной эндоскопической видеокапсульной системы с панорамным обзором. Статья поступила: 31.08.2016 г., принята к печати: 26.12.2016 г. DOI: 10.15690/pf.v13i6.1673
10. Горбачёв А.А., Коротаев В.В., Ярышев С.Н. Твердотельные матричные фотопреобразователи и камеры на их основе. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 98 с.
11. Техническая документация к капсуле COLON 2 PillCam [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании PillCam // Режим доступа:https://www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/reviews/K123666.pdf (дата обращения 23.04.2020)
12. Техническая документация к матрице NanEye 2D [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании AMS // Режим доступа: <https://ams.com/naneye> (дата обращения 23.04.2020)
13. Chih-Kuang Wu., Tsung-Fu Chien., Chin-Lung Yang., and Ching-Hsing Luo. Design of Novel S-Shaped Quad-Band Antenna for MedRadio/WMTS/ISM Implantable Biotelemetry Applications. 2012; doi:10.1155/2012/564092
14. Dobromir Filip, OrlyYadid-Pecht, Christopher N. Andrews, and Martin P. Mintchev; Design, implementation, and testing of a

miniature self-stabilizing capsule endoscope with wireless image transmission capabilities. International Journal "Information Technologies & Knowledge" Vol.5, Number 1, 2011

15. Техническая документация к аккумуляторам GP M10-10 [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании GP // Режим доступа: <https://ind.gpbatteries.com/application/gp-lrc-rechargeable-lithium-ion-coin-cell-series.html> дата обращения 23.04.2020

16. Выбор оптимального метода модуляции сигнала в современных цифровых системах радиосвязи. моделирование в среде Awr Design Environment Москва - 2008 г.

17. Техническая документация к RF-DC преобразователю PC114 [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании Powercast // Режим доступа: <https://www.powercastco.com/products/powerharvester-receivers/> (дата обращения 23.04.2020)

18. Техническая документация к ПЛИС MachXO3 семейства [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании Lattice Semiconductor // Режим доступа: <http://www.latticesemi.com/en/Products/FPGAandCPLD/MachXO3.aspx> (дата обращения 23.04.2020)

19. Техническая документация к полевым транзисторам FK4B01110L [Электронный ресурс] / Официальный сайт дистрибьютора Mouser // Режим доступа: https://ru.mouser.com/datasheet/2/315/FK4B01110L_E-1391680.pdf (дата обращения 23.04.2020)

20. Техническая документация к светодиодам SM0402xx [Электронный ресурс] / Официальный сайт дистрибьютора Mouser // Режим доступа: <https://ru.mouser.com/datasheet/2/50/Bivar-3-22-2017-SM0402UWC-1159049.pdf> (дата обращения 23.04.2020)
21. Техническая документация к DC-DC преобразователю RP605x [Электронный ресурс] / Официальный сайт дистрибьютора Mouser // <https://ru.mouser.com/datasheet/2/792/rp605-ea-1815205.pdf> (дата обращения 23.04.2020)
22. Продакшин бриф к матрице OV6946 [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании OmniVision // <https://www.ovt.com/sensors/OV6946> (дата обращения 23.04.2020)
23. Техническая документация к диоду BAT30F4 [Электронный ресурс] / Официальный сайт дистрибьютора Mouser // <https://ru.mouser.com/datasheet/2/348/sml-p11-e-1139217.pdf> (дата обращения 23.04.2020)
24. Техническая документация к резисторам [Электронный ресурс] / Официальный сайт дистрибьютора Mouser // https://ru.mouser.com/datasheet/2/447/PYu-RC_Group_51_RoHS_L_10-1664068.pdf (дата обращения 23.04.2020)
25. Техническая документация к диэлектрическим конденсаторам [Электронный ресурс] / Официальный сайт дистрибьютора Mouser // <https://ru.mouser.com/datasheet/2/40/cx5r-776519.p> (дата обращения 23.04.2020)

26. Техническая документация к микросхеме NCP160BFCS450T2G [Электронный ресурс] / Официальный сайт дистрибьютора Mouser // <https://ru.mouser.com/datasheet/2/308/NCP160-D-1812517.pdf> (дата обращения 23.04.2020)
27. Техническая документация к ключу R5B-S-5-12 [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании RPE // <https://www.reed-sensor.com/reed-sensors/biased-smd/ultraminiature-nc-reed-sensors/> (дата обращения 23.04.2020)
28. Техническая документация к транзисторам NX7002BKH [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании RPE // <https://ru.mouser.com/datasheet/2/916/NX7002BKH-1599193.pdf> (дата обращения 23.04.2020)
29. Техническая документация к катушке LK10052R2M [Электронный ресурс] / Официальный сайт дистрибьютора Mouser // https://ru.mouser.com/datasheet/2/396/mlci01_hq_e-1620716.pdf (дата обращения 23.04.2020)

ПРИЛОЖЕНИЕ А

```
module top_NanEye(
input      wire    CLK100MHZ,          // глобальное тактирование
input      wire    config_done,       // конец приема информации и передачи
конигурации для 1 матрицы
input      wire    start,             // сигнал начала работы
output     reg     [3:0]LED_power,     // питание LED
output     reg     [3:0]NanEye_power, // питание NanEye
output     reg     reset              // reset
);

// Clock_data_recovery top_NanEye_CDR(
// .CLK100MHZ      (CLK100MHZ),
// .reset          (reset)
// );

// deserialisator top_NanEye_deserialisator(
// .CLK100MHZ      (CLK100MHZ),
// .reset          (reset)
// );

// picture_watch top_NanEye_picture_watch(
// .CLK100MHZ      (CLK100MHZ),
// .reset          (reset)
// );

// Antenna_Ctrl top_NanEye_Antenna_Ctrl(
// .CLK100MHZ      (CLK100MHZ),
// .reset          (reset)
// );

// serial_config top_NanEye_serial_config(
// .CLK100MHZ      (CLK100MHZ),
// .reset          (reset)
// );
```

```

// MUX top_NanEye_MUX(
// .CLK100MHZ      (CLK100MHZ),
// .reset          (reset),
// .config_done    (config_done)
//                );

// подача питания на матрицы и светодиоды после конца reset
reg enable=1'bz;
reg [19:0]exp=0;
reg [1:0]count=2'b0;

always @(posedge CLK100MHZ)
begin
    if (enable == 1)
        exp=exp+1;
    if (exp == 90_800)
        begin
            exp =0;
            enable =0;
        end

    LED_power [0] = enable ? 1'b1 : 1'b0;
    LED_power [1] = enable ? 1'b1 : 1'b0;
    LED_power [2] = enable ? 1'b1 : 1'b0;
    LED_power [3] = enable ? 1'b1 : 1'b0;
end

always @ (reset or start)
begin
    if (start == 1)
        begin
            if (reset == 0)
                begin
                    case (count)
                        0: begin

```

```

        NanEye_power[0] =1'b1;
        NanEye_power[1] =1'b0;
        NanEye_power[2] =1'b0;
        NanEye_power[3] =1'b0;
        enable=1;
        count =1;
    end
1: begin
        NanEye_power[0] =1'b0;
        NanEye_power[1] =1'b1;
        NanEye_power[2] =1'b0;
        NanEye_power[3] =1'b0;
        enable=1;
        count = 2;
    end

2: begin
        NanEye_power[0] =1'b0;
        NanEye_power[1] =1'b0;
        NanEye_power[2] =1'b1;
        NanEye_power[3] =1'b0;
        enable=1;
        count = 3;
    end

3: begin
        NanEye_power[0] =1'b0;
        NanEye_power[1] =1'b0;
        NanEye_power[2] =1'b0;
        NanEye_power[3] =1'b1;
        enable=1;
        count =0;
    end
endcase
end
else begin
        NanEye_power[3:0] =4'b0;

```

```

                LED_power[3:0] =4'b0;
            end
        end
    else begin
        NanEye_power[3:0] =4'b0;
        LED_power[3:0] =4'b0;
    end
end

reg [7:0]timer=0;
reg enable_res=0;
always @(CLK100MHZ)
begin
    if (enable_res ==1)
        timer = timer +1;
    else if (config_done==1)
        timer=0;
end

always @( config_done, timer)
begin
    if (config_done==0 && timer != 255)
        enable_res =1;
    if (timer==255)
        enable_res =1'b0;
end

always @( config_done or timer)
begin
    if (config_done==0)
        begin
            if (timer == 2)
                begin
                    reset=1;
                end
            if (timer == 255)
                begin

```

```

        reset=0;
    end
end
end
endmodule

module Clock_data_recovery(
    input    wire    in_clk_data,    // clk и data LVDS NanEye
    input    wire    CLK100MHZ,    // глобальное тактирование
    input    wire    reset,        // reset на PLL
    output   wire    data,        // выход data после синхронизации
    output   wire    clk,        // выход clk после синхронизации
    output   reg     clk_data_locked // синхронизация завершена на выходе
data и clk
);

    wire          clk_in_pll;        // провода для внутренней связи
    wire          clk_out_pll;      // PLL и CDR
    wire          locked_pll;      //

    clk_wiz_1 clk_wiz_1_CDR(
        .clk_in1      (clk_in_pll), //30MHz - NanEye data clk
        .reset        (reset),     // сброс PLL
        .locked       (locked_pll), // PLL синхронизирован с опорной
частотой
        .clk_out1     (clk_out_pll) //30MHz
    );

    deserialisator deserialisator_CDR(
        .data         (data),
        .clk          (clk),
        .clk_data_locked (clk_data_locked)
    );

    picture_watch picture_watch_CDR(
        .clk_data_locked (clk_data_locked)
    );

    serial_config serial_config_CDR(
        .clk          (clk)
    );

    MUX MUX_CDR(
        .in_clk_data (in_clk_data)
    );

    assign clk_in_pll = locked_pll ? clk_out_pll : in_clk_data ;
    assign clk = clk_data_locked ? clk_out_pll : 1'bz;
    assign data = clk_data_locked ? in_clk_data : 1'bz;

    always @(posedge clk_out_pll) // при передаче данных матрица
    отправляет сигнал молчания // сигнал молчания отличается от
    захваченного синхросигнала
    begin

```

```

        if (clk_out_pll != in_clk_data)// блок информирует о начале передаче
данных
        begin
            clk_data_locked = 1;    // синхросигнал захвачен, начинается
передача данных
        end
    end

    always @(posedge CLK100MHZ )
    begin
        if (reset == 1)
            clk_data_locked = 0;
        end
    endmodule

module deserialisator(
    input    wire          CLK100MHZ,    // не используется глобальное
    //тактирование
    input    wire          reset,        // не используется reset
    input    wire          data,         // вход data с CDR
    input    wire          clk,         // вход clk с CDR
    input    wire          clk_data_locked,// enable для deserialisator
    output   reg           [11:0]signal, // выход 12 бит данных 1 кадр
    output   reg           done         // кадр готов
);

    picture_watch picture_watch_DESER(
        .done          (done)
    );

    Antenna_Ctrl Antenna_Ctrl_DESER(
        .signal        (signal),
        .done          (done)
    );

    reg [3:0]count = 0;    // счетчик бит в кадре. считает до 12
    reg [11:0]buff = 0;   // промежуточный буфер

    always @(posedge CLK100MHZ )
    begin
        if (reset == 1)
        begin
            count <=0;
            buff <=0;
            signal <=0;
            done <=0;
        end
    end

    always @(posedge clk )
    begin

        if (clk_data_locked==1 && reset ==0)
        begin
            case(count)
            0: begin
                signal = buff;
                buff[11] <= data;
                count = 1;
                done = 1;
            end
        end
    end
endmodule

```

```

        end
    1: begin
        buff[10] <= data;
        count = 2;
        done = 0;
    end
    2: begin
        buff[9] <= data;
        count = 3;
    end
    3: begin
        buff[8] <= data;
        count = 4;
    end
    4: begin
        buff[7] <= data;
        count = 5;
    end
    5: begin
        buff[6] <= data;
        count = 6;
    end
    6: begin
        buff[5] <= data;
        count = 7;
    end
    7: begin
        buff[4] <= data;
        count = 8;
    end
    8: begin
        buff[3] <= data;
        count = 9;
    end
    9: begin
        buff[2] <= data;
        count = 10;
    end
    10: begin
        buff[1] <= data;
        count = 11;
    end
    11: begin
        buff[0] <= data;
        count = 0;
    end
endcase
end
data if (clk_data_locked==0) // пока с CDR не поступает
    begin // кадр не готов
        done =0;
    end
end
endmodule

```



```

module Antenna_Ctrl(
    input  wire    CLK100MHZ,           // глобальное тактирование вход PLL
    input  wire    [11:0]signal,       // вход 12 бит
    input  wire    done,               // разрешить передачу
    input  wire    reset,              // reset подключен напрямую к PLL
    output wire    antenna_out         // выход несущая частота
    //проманипулированна по фазе
);

    wire    CLK43MHZ;                 // огибающая
    wire    clk_out1;                 // сигнал несущей фаза 0
    wire    clk_out2;                 // сигнал несущей фаза 180
    wire    locked;                   // конец выставления несущей (конец
    //настройки PLL)

    clk_wiz_0_clk_wiz Antenna_Ctrl(   // PLL
        .reset      (reset),          // reset
        .clk_in1    (CLK100MHZ),      // вход
        .clk_out1   (clk_out1),       // выход фаза 0
        .clk_out2   (clk_out2),       // выход фаза 180
        .clk_out3   (CLK43MHZ),       // выход частота манипуляции
        .locked     (locked)          // конец подстройки
    );

    reg flag;
    reg [3:0]count;

    always @(posedge CLK100MHZ)
        begin
            if(reset == 1)
                begin
                    count=0;

                end
            end
        always @(posedge done)
            begin
                if(reset == 0 && locked == 1)
                    begin
                        count=0;
                        flag =1'bz;
                    end
                end

            assign antenna_out = flag ? clk_out1 : clk_out2;

            always @ (posedge CLK43MHZ )
                begin
                    if (locked == 1 && reset == 0)
                        begin
                            case(count)
                                0:  begin
                                    flag =1;
                                    count=1;
                                end
                                1:  begin
                                    if (signal[10] == 1)
                                        flag = !flag;
                                    end
                                end
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end

```

```

        count=2;
    end
2:  begin
    if (signal[9] == 1)
        flag = !flag;
        count=3;
    end
3:  begin
    if (signal[8] == 1)
        flag = !flag;
        count=4;
    end
4:  begin
    if (signal[7] == 1)
        flag = !flag;
        count=5;
    end
5:  begin
    if (signal[6] == 1)
        flag = !flag;
        count=6;
    end
6:  begin
    if (signal[5] == 1)
        flag = !flag;
        count=7;
    end
7:  begin
    if (signal[4] == 1)
        flag = !flag;
        count=8;
    end
8:  begin
    if (signal[3] == 1)
        flag = !flag;
        count=9;
    end
9:  begin
    if (signal[2] == 1)
        flag = !flag;
        count=10;
    end
10: begin
    if (signal[1] == 1)
        flag = !flag;
        count=11;
    end
11: begin
    flag = 1'bz;
    end
endcase
    end
end
endmodule

```

```

module picture_watch(
    input  wire  CLK100MHZ,
    input  wire  reset,
    input  wire  clk_data_locked,
    input  wire  done,
    output reg  picture_done
);

    serial_config picture_watch(
        .picture_done      (picture_done)
    );

    reg [19:0]count;
    reg flag=0;
    always @ (posedge CLK100MHZ)
        begin
            if (reset == 1)
                begin
                    count = 63004;          // 1PP+(3PP+249PP)*249+(3PP+248PP) =
63004
                    picture_done = 0;
                    flag = 0;
                end
            end

        always @ (posedge done)
            begin
                if (reset == 0 && clk_data_locked == 1 && flag == 0)
                    count = count - 1;
                if (count ==0)
                    picture_done <=1;
                if (count > 63004)          // 1PP+(3PP+249PP)*249+(3PP+248PP) =
63004
                    begin
                        flag=1;
                    end
            end
        end
    endmodule

```

```

module serial_config(
    input    wire    CLK100MHZ,    // глобальное тактирование
    input    wire    reset,        // reset
    input    wire    clk,          // 30MHZ тактирование с CDR
    input    wire    picture_done, // изображение отправлено,
    //начало цикла управления
    output   wire    config_data,  // последовательный выход с
    //данными конфигурации
    output   reg     config_done   // данные конфигурации
    посланы
);

    MUX serial_config(
        .config_data    (config_data),
        .config_done    (config_done)
    );

    reg [2:0]count_1;    // счетчик считает до 12
    reg clk2_5MHZ;      // 2.5MHz clk

    always @ (posedge clk)    // 30MHZ to 2.5MHz
    begin
        count_1 = count_1 + 1'b1 ;
        if (count_1 == 3'b110)
            begin
                count_1 =0;
                clk2_5MHZ = !clk2_5MHZ;
            end
    end

    reg enable;          // разрешает отправку конфигурации
    reg conf_serial ;    // регистр для последовательного присвоения

    assign config_data = enable ? conf_serial : 1'bz;    // при enable = 1
    отправка
    //конфигурации

    reg [22:0]conf;      // 23 бит регистр конфигурации
    reg [4:0]count_2;    // счетчик считает до 23

    always @(posedge CLK100MHZ)    // сброс
    begin
        if (reset == 1)
            begin
                count_1=0;
                conf = 23'b_1001_000_10_10_01_10_1111_1000; // из даташит
                //NanEye

                count_2=0;
                config_done=0;
                clk2_5MHZ=1;
                enable=1;
                conf_serial=1'bz;
            end
    end

    always @(posedge clk2_5MHZ )    // последовательно
    присваивает

```

```

//на выход config_data биты из
//регистра [22:0]conf
begin

    if (picture_done == 1 && enable == 1) // проверка отправлено ли
//изображения был ли reset
begin
    case(count_2)
    0: begin
        conf_serial = conf[22];
        count_2 = 1;
        config_done=1; // сообщаем что конфигурация
началась
    end
    1: begin
        conf_serial = conf[21];
        count_2 = 2;
    end
    2: begin
        conf_serial = conf[20];
        count_2 = 3;
    end
    3: begin
        conf_serial = conf[19];
        count_2 = 4;
    end
    4: begin
        conf_serial = conf[18];
        count_2 = 5;
    end
    5: begin
        conf_serial = conf[17];
        count_2 = 6;
    end
    6: begin
        conf_serial = conf[16];
        count_2 = 7;
    end
    7: begin
        conf_serial = conf[15];
        count_2 = 8;
    end
    8: begin
        conf_serial = conf[14];
        count_2 = 9;
    end
    9: begin
        conf_serial = conf[13];
        count_2 = 10;
    end
    10: begin
        conf_serial = conf[12];
        count_2 = 11;
    end
    11: begin
        conf_serial = conf[11];
        count_2 = 12;
    end
    12: begin
        conf_serial = conf[10];
        count_2 = 13;
    end
end

```

```

        end
13:    begin
        conf_serial = conf[9];
        count_2 = 14;
        end
14:    begin
        conf_serial = conf[8];
        count_2 = 15;
        end
15:    begin
        conf_serial = conf[7];
        count_2 = 16;
        end
16:    begin
        conf_serial = conf[6];
        count_2 = 17;
        end
17:    begin
        conf_serial = conf[5];
        count_2 = 18;
        end
18:    begin
        conf_serial = conf[4];
        count_2 = 19;
        end
19:    begin
        conf_serial = conf[3];
        count_2 = 20;
        end
20:    begin
        conf_serial = conf[2];
        count_2 = 21;
        end
21:    begin
        conf_serial = conf[1];
        count_2 = 22;
        end
22:    begin
        conf_serial = conf[0];
        count_2 = 23;
        end
23:    begin
        enable =0; // до следующего reset
        config_done=0; // сообщаем что конфигурация
//завершилась
        end
    endcase
end
end
endmodule

```

```

module MUX(
input  wire      CLK100MHZ,          // глобальное тактирование
input  wire      reset,
input  wire      config_done,       // завершение конфигурации
input  wire      config_data,       // данные конфигурации
inout  wire      [3:0]inout_LVDS,   // вход с матриц
output reg       next,              // индикатор завершения цикла приема
//изображения и отправки конфигурации
output wire      in_clk_data        // выход clk data
);

```

```

reg [1:0]count=0; // счетчик для последовательно переключения матриц
reg enable_0;     // флаги разрешающие цикл приема информации
reg enable_1;     // или передачи конфигурации
reg enable_2;     // (1 - передается конфигурация)
reg enable_3;     // (0 - принимается информация с матриц)

```

```

// основная часть мультиплексора распределяет inout на in и out
assign in_clk_data = enable_0 ? 1'bz: inout_LVDS[0];
assign inout_LVDS[0] = enable_0 ? config_data : 1'bz;

```

```

assign in_clk_data = enable_1 ? 1'bz: inout_LVDS[1];
assign inout_LVDS[1] = enable_1 ? config_data : 1'bz;

```

```

assign in_clk_data = enable_2 ? 1'bz: inout_LVDS[2];
assign inout_LVDS[2] = enable_2 ? config_data : 1'bz;

```

```

assign in_clk_data = enable_3 ? 1'bz: inout_LVDS[3];
assign inout_LVDS[3] = enable_3 ? config_data : 1'bz;

```

```

always@ (posedge config_done)
begin
    if (reset == 0)
        begin
            case (count)
                0: begin
                    enable_0 = 1'b1;
                    count=1;
                    next=0;
                end
                1: begin
                    enable_1 = 1'b1;
                    count=2;
                    next=0;
                end
                2: begin
                    enable_2 = 1'b1;
                    count=3;
                    next=0;
                end
                3: begin
                    enable_3 = 1'b1;
                    count = 0;
                    next=0;
                end
            endcase
        end
end

```

```

always@ (negedge config_done)

```

```

begin
    enable_0    =    1'b0;
    enable_1    =    1'b0;
    enable_2    =    1'b0;
    enable_3    =    1'b0;
    next=1;
end

// блок обработки reset
always @(posedge CLK100MHZ)
begin
    if (reset ==1)
        begin
            next=0;
            count=0;
            enable_0    =    1'b0;
            enable_1    =    1'b0;
            enable_2    =    1'b0;
            enable_3    =    1'b0;
        end
end

endmodule

```

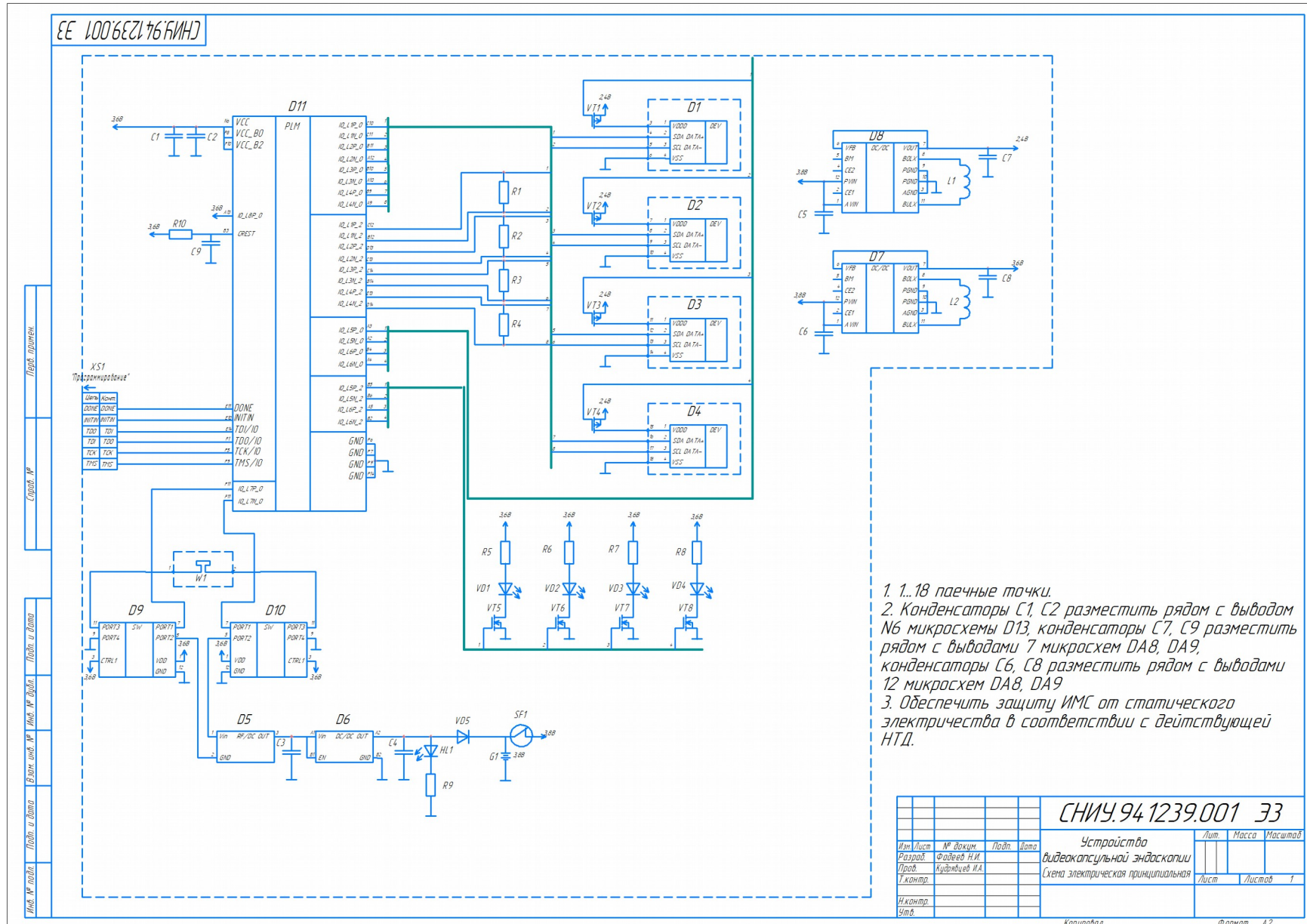

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

		Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Перв. примен.			<u>Конденсаторы</u>		
		C1	O101ZD101M2A-100пФ-10В±20%	1	
		C2	O1016D104M2A-0.1мкФ-6.3В±20%	2	
		C3	O2016D105M2A-1мкФ-6.3В±20%	1	
		C4-C8	O4026D225M2A-22мкФ-6.3В±20%	1	
		C9	O1016D104M2A-0.1мкФ-6.3В±20%	1	
Справ. №			<u>Микросхемы</u>		
		D1-D4	NE2D_RGB_V120F2.8_2M	4	
		D5	PC114	1	
		D6	NCP160BFCS450T2G	1	
		D7,D8	PR605Z	2	
		D9-D10	SKY13699-21	2	
Подп. и дата		D11	MachX03LF4300C-6UWG81C	1	
		G1	Гальванический элемент GP M10 - 10	1	
		HL1	Светодиод SM00402PGC	1	
			<u>Дроссели</u>		
		L1,L2	LK1005R10M-TV-2,2мкГн±20%	2	
			<u>Резисторы</u>		
Взам. инв. №		R1-R4	RC0201JR-07120RL-0.05Вт-1200м±5%	4	
		R5-R8	RC0201JR-0724RL-0.05Вт-240м±5%	4	
		R9	RC0201JR-07430RL-0.05Вт-4300м±5%	1	
		R10	RC0201JR-072K2RL-0.05Вт-2,2КОм±5%	1	
Подп. и дата		SF1	Геркон R5B-S-5-12	1	
Инв. № подл.			СНИУ.94.1239.001 ПЭЗ		
		Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата
		Разраб.	Фадеев Н.И.		
		Проб.	Кудрявцев И.А.		
	Н.контр.				
	Утв.				
		Устройство видеокапсульной эндоскопии перечень элементов			Лист 1 Листов 2
					Самарский университет группа 6464-120304D

Копировал

Формат А4

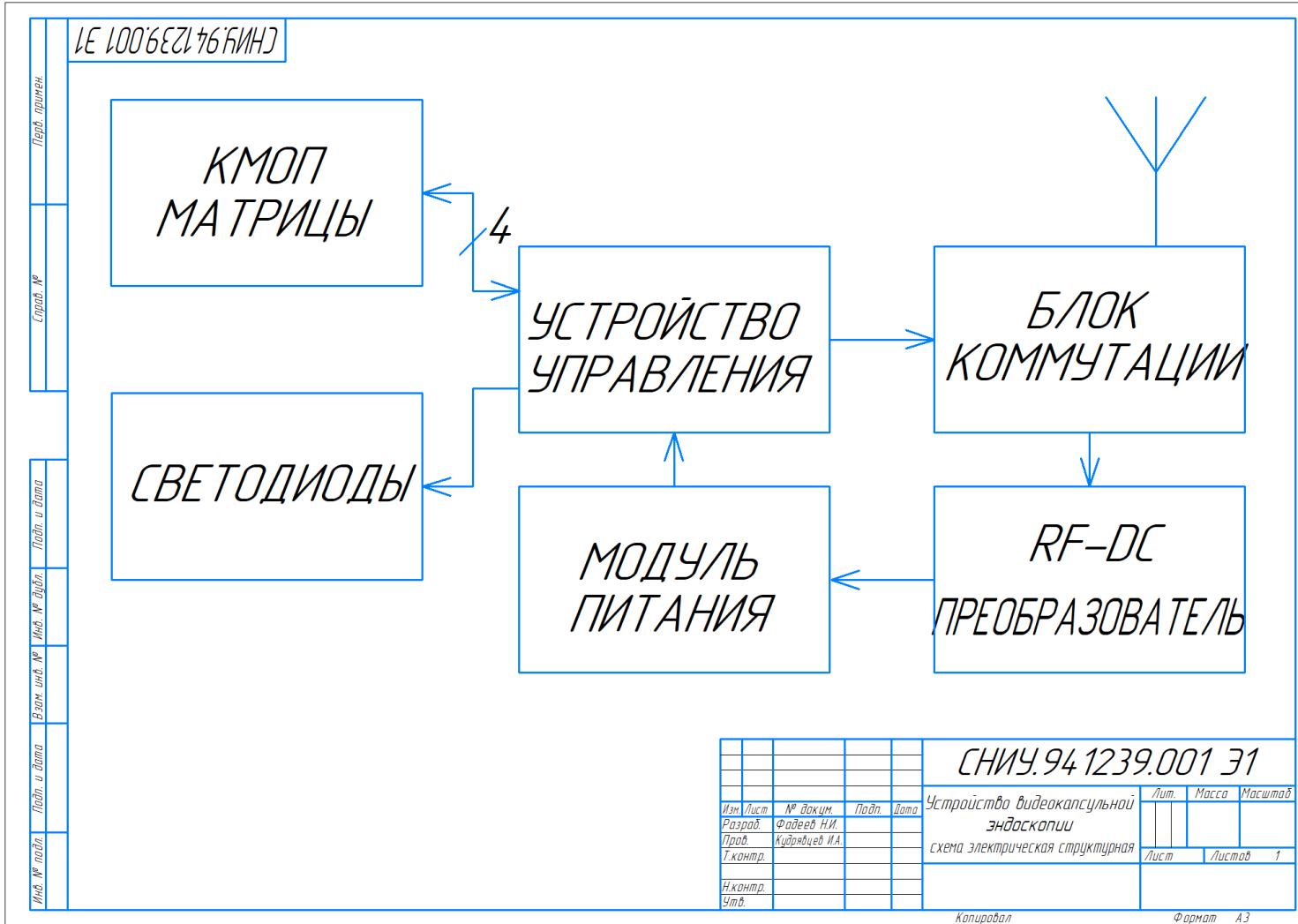
ПРИЛОЖЕНИЕ В



- 1..18 паяные точки.
2. Конденсаторы C1, C2 разместить рядом с выводом N6 микросхемы D13, конденсаторы C7, C9 разместить рядом с выводами 7 микросхем DA8, DA9, конденсаторы C6, C8 разместить рядом с выводами 12 микросхем DA8, DA9
3. Обеспечить защиту ИМС от статического электричества в соответствии с действующей НТД.

СНИУ.94.1239.001 ЭЗ			
Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разработ	Фадеев Н.И.		
Проект	кудотв.в.И.А.		
Техникр.			
Исполн.			
Учтв.			
Устройство		Лист	Масштаб
видеокапсульной эндоскопии			
Схема электрическая принципиальная		Лист	Листов 1
Копировал		Формат А2	

ПРИЛОЖЕНИЕ Г



СНИУ.94.1239.001

Перв. примен.
Спроб. №
Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

				СНИУ.94.1239.001 31			
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Устройство видеокapsульной эндоскопии	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Фадеев Н.И.			схема электрическая структурная			
Проб.	Кудрявцев И.А.				Лист	Листов	1
Т.контр.							
И.контр.							
Утв.							

Копировал _____ Формат А3