

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Описание и работа системы	3
1.1 Назначение системы CLWS-200	3
1.2 Принцип действия системы CLWS-200	3
1.3 Технические характеристики	4
1.4 Состав системы	5
2 Основание	6
2.1 Основание	6
2.2 Гранитный стол	6
2.3 Пневматическая система	6
2.4 Система виброзащиты	8
3 Оптический канал записи	8
3.1 Мощный аргоновый лазер	8
3.2 Оптический канал записи	9
3.2.1 Оптическая схема ОКЗ	9
3.2.2 Электронное управление ОКЗ	11
3.3 Высокочастотный драйвер АОМ	11
3.4 Фотоприемник обратной связи	13
3.5 Фотоприемник калибровки	15
4 Силовой блок	19
5 Векторный функциональный генератор	21
6 Блок угловой координаты	30
6.1 Аэростатический шпиндель	30
6.2 Датчики углового положения и начала оборота	31
6.3 Подвод вакуума	31
7 Блок линейной координаты	31
7.1 Каретка линейной координаты	32
7.2 Ситалловые направляющие	33
7.3 Линейный двигатель	34
7.4 Контроллер линейной координаты	34
7.5 Лазерная интерферометрическая система	37
7.5.1 Настройка лазерной интерферометрической системы	40
8 Головка записи с узлом визуального контроля	45
8.1 Колонна записи и автофокусировки	45
8.1.1 Назначение и состав	45
8.1.2 Принцип действия.	46
8.2 Юстировка колонны записи и головки автофокуса.	47
8.2.1 Выставление излучения лазера записи по оптическим осям колонны	47
8.2.2 Юстировка зеркала 1	48
8.2.3 Юстировка зеркал 2 и 3	49
8.2.4 Юстировка осветителя (III)	49
8.2.5 Юстировка канала видеокамеры (IV)	49
8.2.6 Юстировка блока фотоприемника (V)	50
8.2.7 Юстировка блока автофокусировки (II)	50
8.3 Датчик автофокуса	52
8.4 Плата управления/контроля головки записи	52
9 Маркировка кабелей	57
10 Технология термохимической записи	60
10.1 Введение	60
10.2 Тестирование плёнок хрома	60

10.3	Травление плёнок хрома	61
10.3.1	Раствор травителя	61
10.3.2	Время травления	62
11	Сдача системы в эксплуатацию	64
12	Приложение А. Схемы устройств	65

## **ВВЕДЕНИЕ**

Настоящее техническое описание содержит сведения о системе круговой лазерной записи CLWS-200, необходимые для обеспечения полного использования ее технических возможностей, правильной эксплуатации и профилактического осмотра.

Информация, содержащаяся в данном руководстве применима только к системе CLWS-200. Настоящее описание не применимо для систем, серия которых не совпадает с указанной. Изготовитель «Лаборатория лазерных технологий Института Автоматики и Электростроения СО РАН» (именуемая далее «Изготовитель») не несет ответственности за любые последствия, вызванные невыполнением этого условия.

## **1 ОПИСАНИЕ И РАБОТА СИСТЕМЫ**

### **1.1 Назначение системы CLWS-200**

Система круговой лазерной записи CLWS-200 предназначена для записи дифракционных оптических элементов (осесимметричных, внеосевых и произвольной топологии, в т.ч. линейных структур), высокоточных круговых шкал, оцифрованных лимбов, многоразрядных кодовых дисков, сеток.

В качестве материала для записи изображений используются пленки металлического хрома или фоторезиста.

Для записи используются заготовки типа ППХ и ППХФ, соответствующие ТУ 11-79, а также заготовки АП 7844-4560-0 производства ФГУП «ПО УОМЗ». Для достижения наилучших результатов записи, заготовки должны удовлетворять следующим требованиям:

- отклонение от плоскостности по всей поверхности заготовки не более 10 мкм;
- толщина слоя хрома 0.1÷0.2 мкм (оптическая плотность 1.5÷2.0 D);
- пленки хрома должны наноситься методом магнетронного или термического напыления в вакуумной камере при давлении остаточных газов  $\approx 10^{-6}$  тор;
- максимальный размер заготовки 200 мм.

Заготовки толщиной более 10 мм крепятся на основание вращающегося стола (вакуумный прижим снимается).

### **1.2 Принцип действия системы CLWS-200**

Принцип действия установки основан на формировании в светочувствительном материале скрытого изображения будущих элементов. Система CLWS-200 работает в полярной системе координат.

Запись топологии элементов ведется в режиме непрерывного кругового сканирования под управлением компьютера. Во время записи рабочая заготовка, покрытая пленкой светочувствительного материала, вращается относительно сфокусированного пучка света, который медленно перемещается в радиальном направлении от периферии к центру. Рисунок на поверхности пленки формируется с помощью компьютера путем программного управления мощностью излучения на каждом элементе поверхности (Рис. 1.1).

Акустооптические модуляторы обеспечивают обратную связь и высокочастотную амплитудную модуляцию излучения мощного лазера.

Цифровые системы управления, входящие в состав установки,

*Лаборатория лазерных технологий, Институт Автоматики и Электростроения СО РАН*

обеспечивают:

– перемещение записывающей головки в радиальном направлении с разрешением порядка 0,6 нанометра;

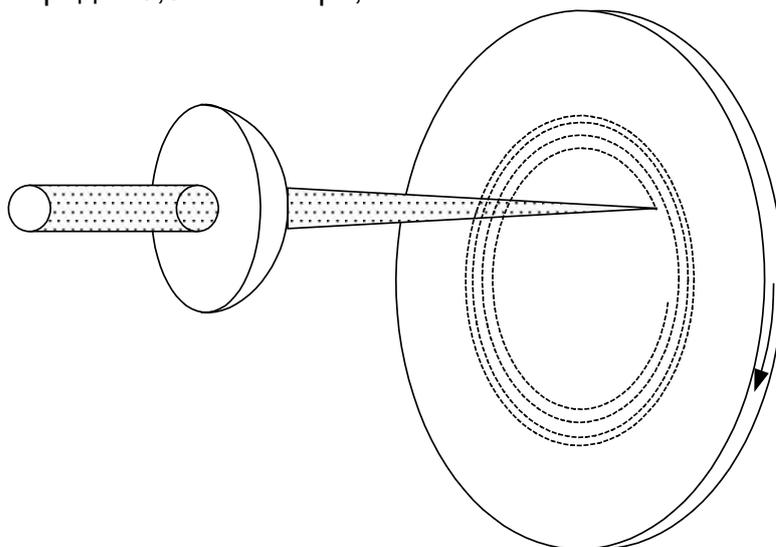


Рис. 1.1 Формирование рисунка на рабочей поверхности

– перемещение пластин с фоточувствительным материалом в угловом направлении с разрешением порядка 0,25 угловой секунды;

– фокусировку излучения на поверхности светочувствительного материала с погрешностью до 0,05 мкм.

Базовые размеры составных частей системы приведены на чертеже общего вида.

Общий вес системы составляет около 600 кг.

### 1.3 Технические характеристики

Технические данные системы CLWS-200 приведены в Таб. 1.1.

Таб. 1.1 Технические данные системы CLWS-200

Параметр	Значение	Ед. изм.
Угловая погрешность расположения элементов топологии	$\pm 2$	угл. сек
Точность позиционирования	0.05	мкм
Разрешающая способность системы радиальных перемещений	0.6	нм
Разрешающая способность системы угловых Перемещений	0.2	угл. сек
Пространственное разрешение	>1000	лин./мм
Максимальный размер рабочего поля	200	мм
Диапазон изменения скорости записи	5-15	мкм/сек
Материал записи	пленки хрома, фоторезист	
Материал подложки	стекло, кварц	
Максимальная толщина подложки	20*	мм
Рабочая длина волны Ar-лазера	488	нм
Мощность излучения лазера	<700	мВт

\* С отдельным держателем

## **1.4 Состав системы**

Система CLWS-200 состоит из следующих частей и компонентов, представленных в Таб. 1.2

**Таб. 1.2 Состав системы CLWS-200**

	Наименование
Основание	
	– гранитный стол
	– система виброзащиты
	– пневматическая система
Оптический канал записи	
	– мощный аргоновый лазер
	– оптический канал записи
	– акустооптические модуляторы
	– фотоприемник обратной связи
	– фотоприемник контроля мощности
Силовой блок	
	– источник питания модулятора
	– источник питания усилителей тока
	– источник питания головки записи
	– драйверы АОМов
	– усилители тока
Векторный функциональный генератор	
Блок угловой координаты	
	– аэростатический шпиндель
	– инкрементный датчик углового положения
	– подвод вакуума
	– двигатель вращения
	– планшайба
	– контроллер угловой координаты
Блок линейной координаты	
	– каретка линейной координаты
	– ситалловые направляющие
	– линейный двигатель
	– контроллер линейной координаты
	– лазерная интерферометрическая система
Головка записи с узлом визуального контроля	
	– оптическая схема головки записи
	– датчик автофокуса
	– исполнительный элемент (актюатор)
	– плата управления/контроля головки записи
	– затвор
	– усилитель тока (актюатор)
	– устройство подсветки
	– CCD камера
	– фотоприемник контроля мощности отраженного излучения
Управляющий компьютер	
Программное обеспечение	
Комплект эксплуатационной документации	

## 2 ОСНОВАНИЕ

### 2.1 Основание

Основание системы CLWS-200 состоит из гранитного стола, установленного на металлическое основание, и системы виброзащиты. Металлическое основание совмещено с пневматической системой фотопостроителя. Внешний вид основания представлен на Рис. 2.1

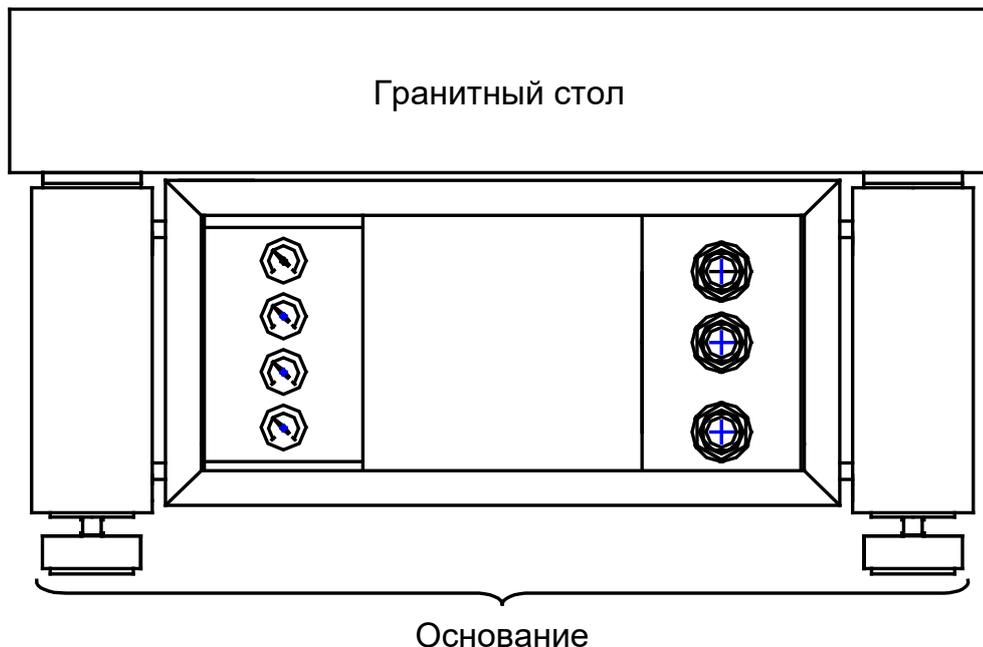


Рис. 2.1 Основание

### 2.2 Гранитный стол

Гранитный стол предназначен для размещения узлов системы CLWS-200. Гранитный стол представляет собой плиту, изготовленную из плотного природного мелкозернистого гранита, и имеет размеры 900x650x150 мм. Верхняя рабочая поверхность плиты стола полируется, параметр шероховатости  $R_a$  равен 0,32 мкм, плоскость поверхности не менее 0,006 мм. В плите высверлены технологические отверстия для размещения шпинделя, подводки соединительных кабелей и ряд глухих отверстий для вклеивания крепежных втулок.

Гранитный стол монтируется на металлическом основании, совмещенном с узлами пневматической системы. Металлическое основание представляет собой несущий каркас, соединяющий четыре ресивера.

### 2.3 Пневматическая система

Пневматическая система предназначена для питания сжатым воздухом аэростатических опор шпинделя и ползунов. Она включает в себя датчики давления, переходники, штуцеры, шланги, манометры. На лицевой стороне основания располагается панель управления и индикации пневматической системы. Принцип работы пневматической системы рассмотрим по схеме пневматической, представленной на Рис. 2.2.

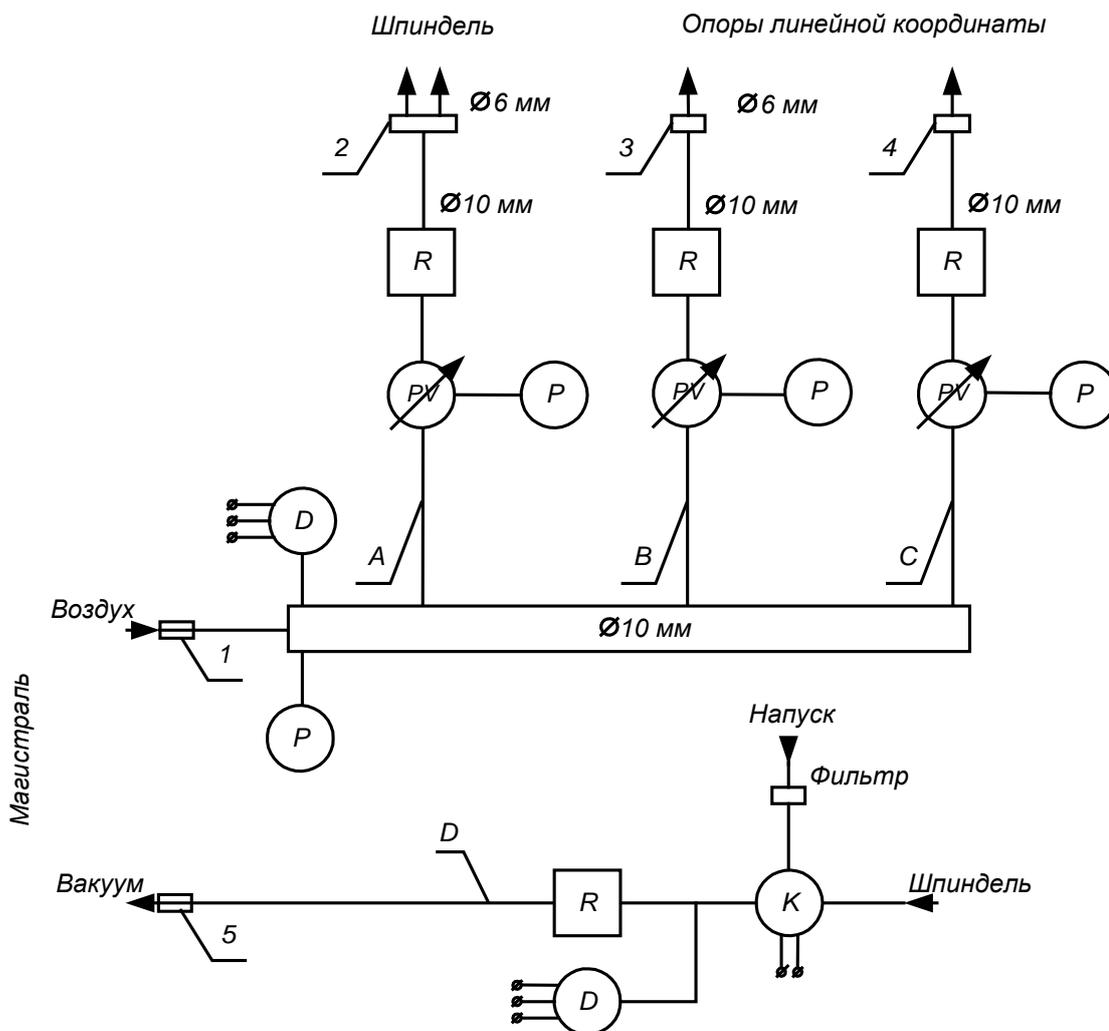


Рис. 2.2 Пневматическая схема

С помощью пневмораспределителей 1, 2, 3, 4 и манометров Р производится подача и выставление рабочего давления в аэростатические подшипники шпинделя и каретки линейной координаты. Величина рабочего давления равна 0,5 и 0,4 мПа соответственно.

Сжатый воздух в шпиндель подается через ресивер R, который в аварийных ситуациях отсекается от пневмомагистрали обратным клапаном.

Цифровые датчики давления D предназначены для мониторинга состояния магистрали пневматической системы.

Манометры Р и пневмораспределители 2, 3, 4 расположены на лицевой стороне пневмопанели и имеют соответствующие надписи. Внешний вид пневмопанели основания показан на Рис. 2.3.

Вакуум подается с поста очистки и откачки воздуха.

Пост очистки и откачки воздуха должен размещаться на расстоянии не более 4 метров от системы CL WS-200 за пределами чистой комнаты. В стене чистой комнаты должны быть предусмотрены технологические отверстия для подключения пневматической и вакуумной магистралей.

К посту должна быть подведена пневмомагистраль с номинальным давлением 6 атм. При расходе не менее 0,7 м<sup>3</sup>/мин. воздух должен быть очищен от пыли, паров масел, аэрозолей, токсичных и агрессивных газов. Температура подаваемого воздуха 20±1°С.

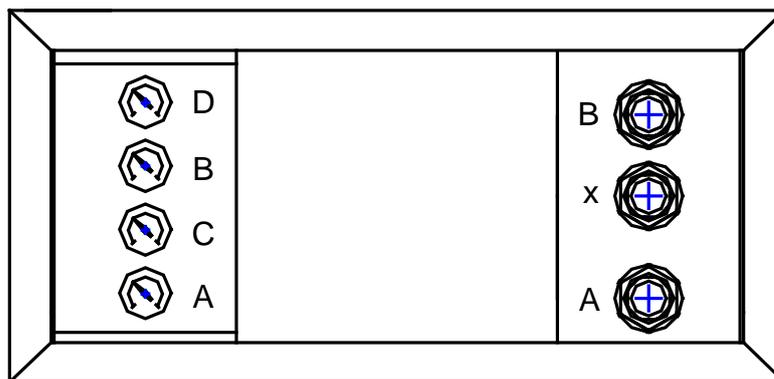


Рис. 2.3 Пневмопанель

Пост должен обеспечивать технические параметры, представленные в Таб. 2.1.

Таб. 2.1 Параметры поста очистки и откачки воздуха

Параметр	Значение	Ед. изм
По очистке сжатого воздуха		
Условный проход	10	мм
Номинальное входное давление	1.0-1.2	мПа
Минимальное входное давление	0.1	мПа
Диапазоны настройки давления на выходе	0.05÷0.09	мПа
Номинальный расход воздуха при давлении на выходе 0,63 мПа	не менее 1.25	м <sup>3</sup> /мин
Абсолютная тонкость фильтрации	0.5	мкм
Степень очистки	не менее 99.9	%
Снижение температуры точки росы	не менее 10	°С
Изменение редуцированного давления на выходе при измерении расхода	не более 0.06	мПа
По подготовке вакуума		
Быстрота действия в диапазоне давлений от атмосферного до 0,13 кПа	1.0	л/с

## 2.4 Система виброзащиты

Система виброзащиты предназначена для снижения влияния вибраций на точностные характеристики составных частей системы.

Система виброзащиты представляет собой четыре виброопоры. Конструктивно каждая виброопора состоит из воздушной камеры из эластомера, усиленной стальным каркасом. Подача воздуха осуществляется через вентиль автомобильной камеры.

Принцип действия системы виброзащиты заключается в создании воздушного зазора между поверхностью пола и основанием фотопостроителя.

## 3 ОПТИЧЕСКИЙ КАНАЛ ЗАПИСИ

### 3.1 Мощный аргоновый лазер

В качестве мощного лазера в системе использован лазер INNOVA-70 производства фирмы COHERENT (США). Выбор данного лазера обусловлен достаточно высокой мощностью непрерывного излучения в диапазоне длин

волн от ультрафиолетового до видимого инфракрасного цвета (351,1–528,7 нм). Так на рабочей для системы длине волны  $\lambda=488$  нм мощность излучения составляет 700 мВт. Такие параметры позволяют фокусировать излучение лазера в записываемое пятно с диаметром порядка 0,6 мкм и реализовать быстродействующий термохимический способ записи в тонких пленках хрома с пространственным разрешением менее 1 мкм.

Конструктивно лазер состоит из лазерной головки, блока управления и согласующего трансформатора. Состав, устройство, принцип работы и порядок обслуживания подробно описаны в техническом описании, прилагаемом к лазеру.

**Внимание!** Лазер имеет водяное охлаждение. Для эксплуатации лазера необходимо подвести техническую воду ГОСТ 2874-73 под давлением 0,2-0,3 МПа (2,0-3,0 кгс/см<sup>2</sup>) и расходом не менее 8,3 л/мин.

**Внимание!** Использовать лазер в точном соответствии с инструкцией по применению.

### 3.2 Оптический канал записи

Оптический канал записи (ОКЗ) служит для управления мощностью записываемого луча лазера и формирования параллельного пучка заданного диаметра на входном отверстии микрообъектива блока фокусировки лазерного излучения. В основе работы канала записи лежит двухмодуляторная схема, обеспечивающая широкий динамический диапазон управления мощностью записываемого луча.

Параметры оптического канала записи приведены в Таб. 3.1.

**Таб. 3.1** Параметры оптического канала записи

Параметр	Значение
Лазер	Coherent Innova-70
Входной диаметр лазерного пучка	1.5 мм
Диаметр пучка на выходе ОКЗ	5.5 мм
Расходимость пучка	0.5 мрад
Стабилизация (нестабильность) тока	±3 %
Регулировка света	±0.5 %
Оптические шумы	±0.5 %
Нестабильность светового пучка	±0.5 %
Длительность фронта/спада АОМ1 и АОМ2	не более 45 нс
Угол Брэгга АОМ	типичное 0.8 ° (13.9 мрад)

#### 3.2.1 Оптическая схема ОКЗ

Принципиальная оптическая схема ОКЗ показана на Рис. 3.1. Канал записи включает два установленных последовательно акустооптических модулятора АОМ-1 и АОМ-2 с несущей частотой 110 МГц, два широкополосных фотоприемника ФП 02 и 03, три линзы (Л1-Л3), 5 зеркал (М1-М5), диафрагм Д1 и Д2, Оптическая схема оптимизирована на применение лазера Innova-70 для длины волны 458-488 нм. Излучение аргонового лазера 01 отражается от поворотных зеркал М1 и М2 и фокусируется линзой Л1 в центр кристалла первого АОМ (поз. 04). Диаметр перетяжки в фокусе подобран так чтобы оптимизировать быстродействие и дифракционную эффективность модулятора. Для стабилизации мощности излучения первый АОМ охвачен

обратной связью по сигналу с фотоприемника обратной связи (06). Для обеспечения сигнала обратной связи на вход фотоприемника 06 подается небольшая (2-4%) часть пучка, дифрагировавшего в первый порядок и отраженная линзой Л2 назад. Первый порядок дифракции на выходе АОМ1 является рабочим.

Линза Л2 переносит перетяжку из центра АОМ1 в центр АОМ2 (поз. 05). Линза Л3 обеспечивает параллельность пучка на входе в колонну записи. Второй АОМ предназначен для скоростной бинарной модуляции. Он используется без обратной связи, но с периодической калибровкой выходной мощностью по сигналу с выхода фотоприемника контроля мощности (поз. 07).

На Рис. 3.2 показано расположение элементов ОКЗ на виде сверху круговой лазерной записывающей системы.

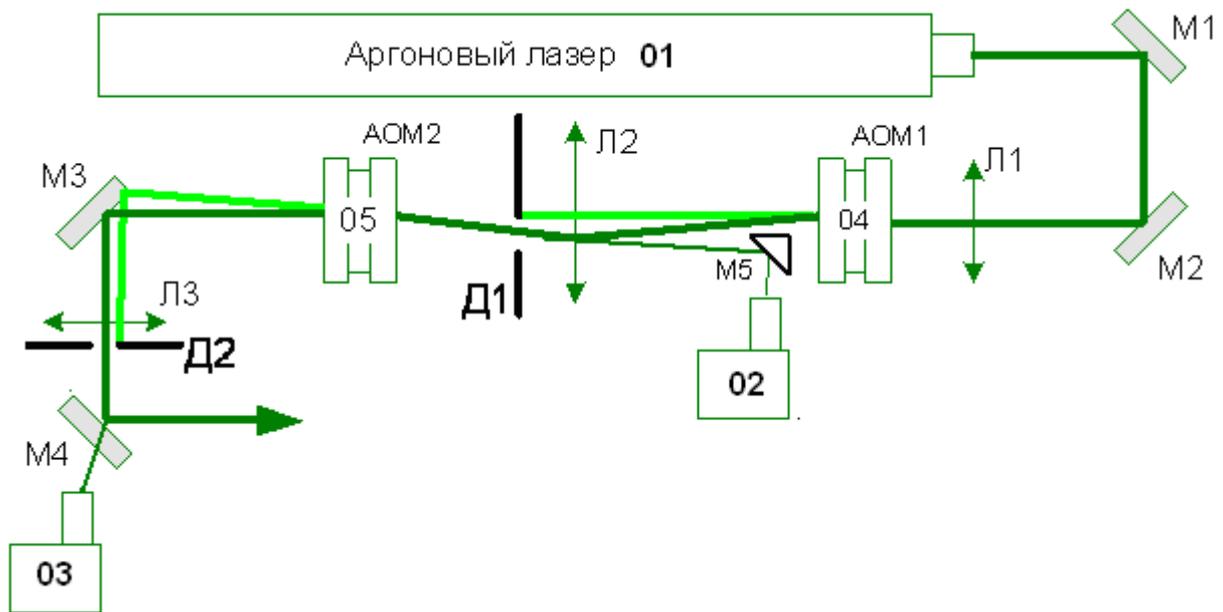


Рис. 3.1 Упрощенная схема ОКЗ

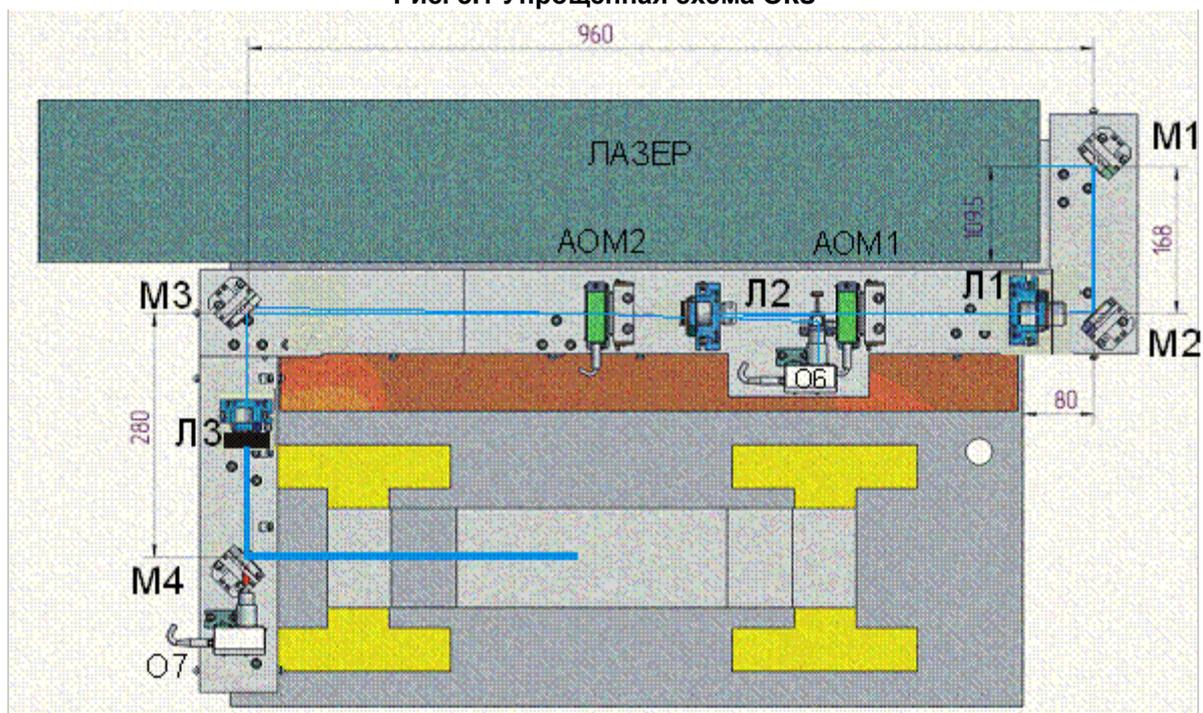


Рис. 3.2 Расположение элементов ОКЗ на виде сверху

### 3.2.2 Электронное управление ОКЗ

Функциональная схема электронного управления ОКЗ изображена на Рис. 3.3. Она включает пять электронных узлов: два одинаковых высокочастотных драйвера (ВЧД1, ВЧД2), два фотоприемника (ФП ОС, ФП калибр.) и плату векторного функционального генератора, задающую управляющие сигналы для высокочастотных драйверов АОМ на основе сигналов от фотоприемника обратной связи (ФП ОС), фотоприемника калибровки (ФП калибр.).

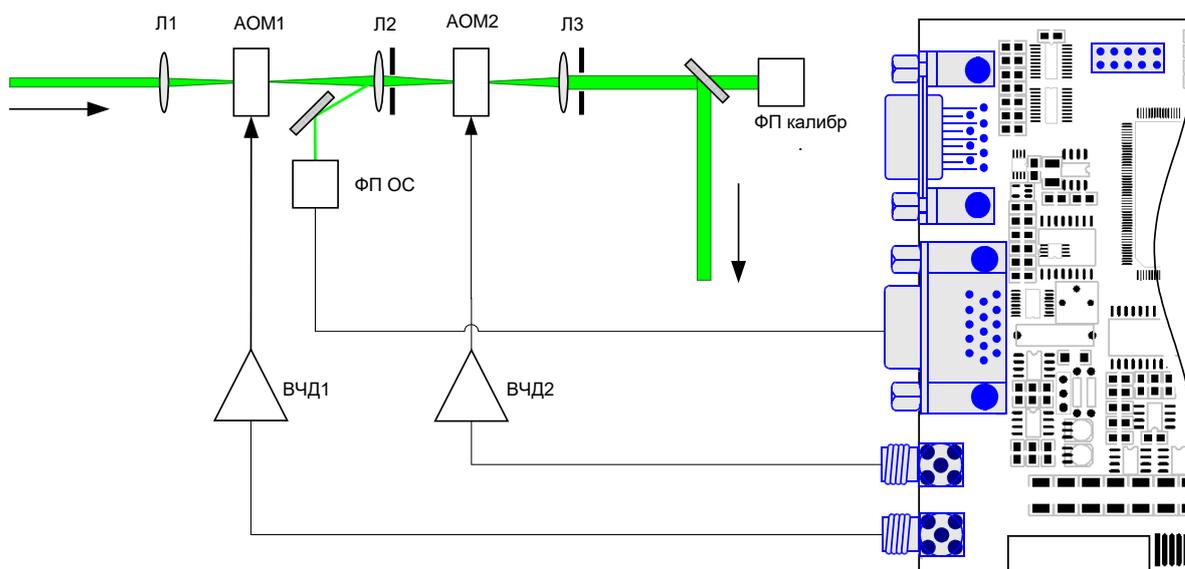


Рис. 3.3 Функциональная схема управления ОКЗ

Для подключения сигналов управления каждый АОМ имеет разъем типа SMA. Схема подключения АОМов представлена на Рис. 3.4. Цоколевка разъема представлена в Таб. 3.2

Таб. 3.2 Цоколевка разъема АОМ

Контакт	Сигнал	Описание
1(core)	IN	Выход
2(cover)	GND	Сигнальная земля

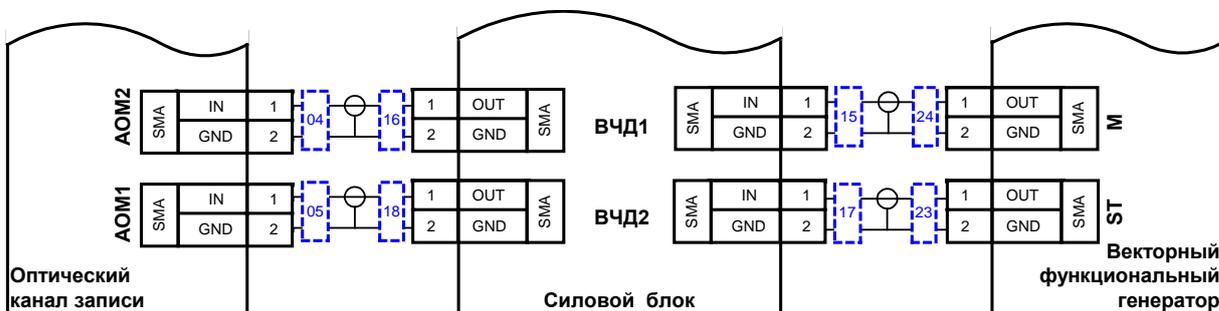


Рис. 3.4 Схема подключения АОМов

### 3.3 Высокочастотный драйвер АОМ

Высокочастотный драйвер (ВЧД) используется для формирования мощного амплитудно-модулированного высокочастотного сигнала с несущей частотой 110 МГц. Его питание осуществляется от источника с напряжением

+24 В. ВЧД имеет аналоговый вход, задающий уровень амплитудной модуляции и аналоговый выход, согласованный на 50 Ом. Блок-схема ВЧД приведена на Рис. 3.5. Конструктивно драйверы АОМов находятся в силовом блоке.

Управление амплитудной модуляцией осуществляется изменением напряжения на Входе от 0 до -1 В. При этом напряжение - 1 В соответствует амплитуде ВЧ сигнала 15 В на акустооптическом модуляторе. Измерение проводилось осциллографом TDS-220 с щупом 1:10 на разъеме модулятора со снятой крышкой.

Частота Генератора определяется величиной напряжения  $U_f$ , но жестко зафиксирована в данной конструкции ВЧД. Крутизна амплитудной модуляции определяется напряжением  $U_p$ , которое также жестко зафиксировано.

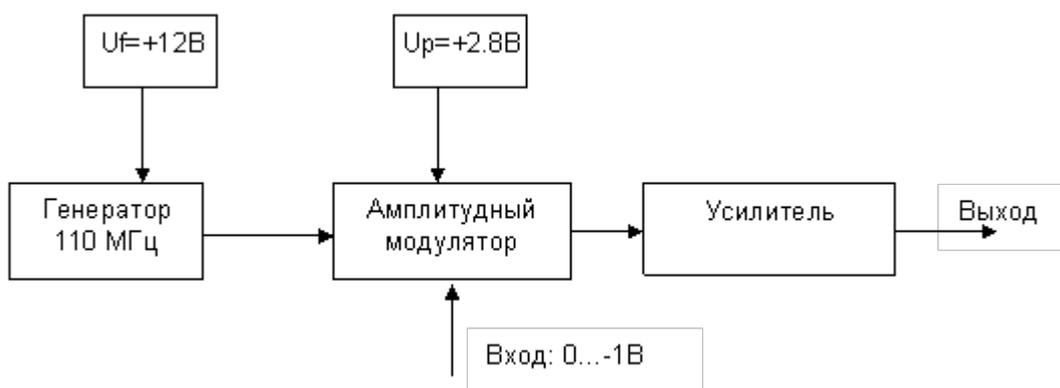


Рис. 3.5 Блок-схема высокочастотного драйвера

Электрическая схема высокочастотного драйвера АОМ представлена на Рис. 3.5.

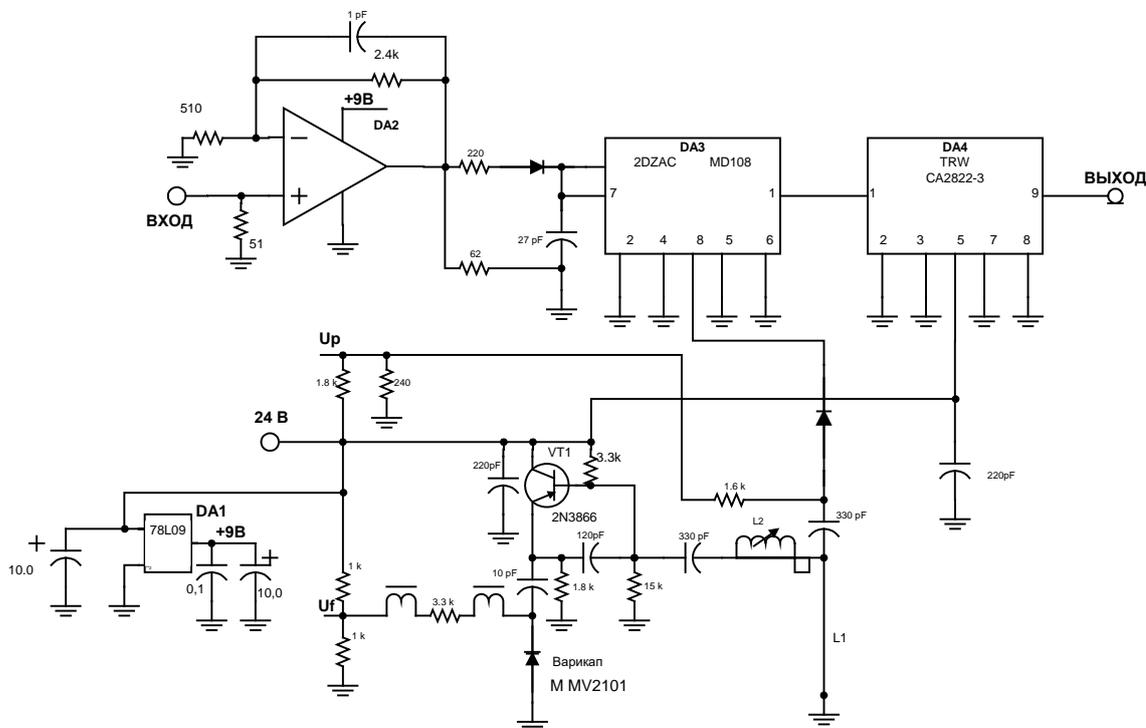


Рис. 3.6 Электрическая схема драйвера АОМ

**Внимание!** Включение ВЧД без нагрузки (АОМ) приводит к выходу их из строя.

**Внимание!** Перегрев ВЧД выше 70 градусов может привести к выходу их

из строя. Поэтому вентилятор охлаждения должен работать всегда при включенных ВЧД.

### 3.4 Фотоприемник обратной связи

Высокоскоростной аналоговый фотоприемник обратной связи предназначен для преобразования интенсивности отраженного линзой Л2 светового пучка в электрический сигнал, являющейся сигналом обратной связи для управления АОМ1. Этот фотоприемник со сниженным уровнем шума имеет цифровую регулировку усиления, облегчающую настройку системы при изменении длины волны записываемого пучка или вариации его мощности при смене светочувствительного материала. Выходным параметром является аналоговое значение мощности лазерного излучения.

Функциональная схема фотоприемника изображена на Рис. 3.7. В состав устройства входят: PD - высокоскоростной фотодетектор; источник опорного напряжения Ref, задающий отрицательное напряжение смещения фотодиода; низкошумящий предусилитель Amp преобразует ток фотодиода в напряжение; также в фотоприемнике предусмотрен усилитель с переменным коэффициентом усиления Variable gain Amp для калибровки сигнала по уровню (может использоваться для коррекции спектральной чувствительности); Dif Buff – дифференциальный буфер. Также в состав фотоприемника входит стабилизированный преобразователь напряжения VC, который из входного напряжения формирует напряжения, необходимые для работы фотоприемника.

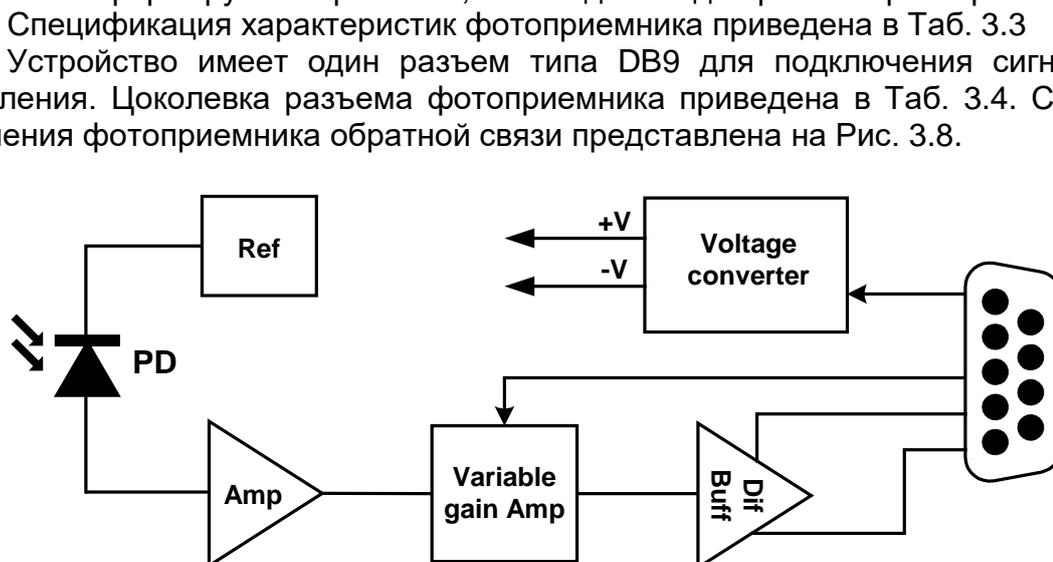


Рис. 3.7 Блок-схема аналогового фотоприемника

Таб. 3.3 Спецификация характеристик аналогового фотоприемника

Параметр	Формат	Min	Typ	Max	Ед. изм.
Управление усилителем	Последовательный 16 бит	1.7		0.6	В
Вход логической единицы					
Вход логического нуля					
Чтение с фотодетектора	Аналоговый	0	200	1	В
Выходное напряжение					
Нагрузка (волновое сопротивление линии связи)					
Максимальное значение измеряемого излучения					
				1	мВт/см <sup>2</sup>

ПИТАНИЕ					
Напряжение питания			4.8	5.2	В
Потребляемый ток			150	200	мА

Таб. 3.4 Цоколевка разъема аналогового фотоприемника

Контакт	Сигнал	Вход/Выход	Описание
1	Q+	Выход	Плюс выходного сигнала
2	Q-	Выход	Минус выходного сигнала
3	GNA		Земля
4	CGND		Земля
5	CVCC	+5 В	Напряжение питания
6	SYNK	Вход	Сигнал кадровой синхронизации для входных данных
7	CLK	Вход	Тактовый сигнал
8	D0	Вход	Последовательные данные
9	GND		Земля

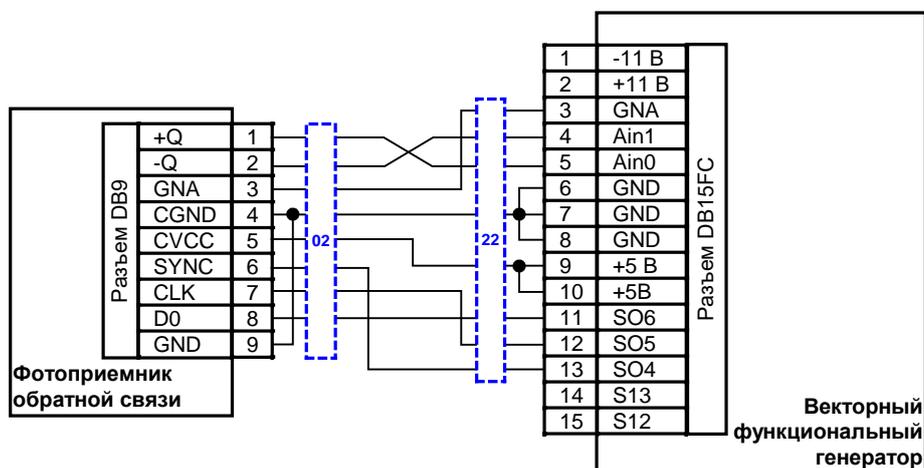


Рис. 3.8 Схема включения фотоприемника обратной связи

Управление усилителем осуществляется посредством записи в фотоприемник кода усиления. Данные передаются в следующем формате (Рис. 3.9):

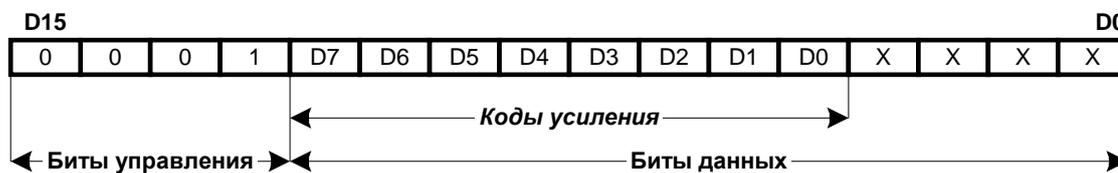


Рис. 3.9 Формат передачи кодов усиления в фотоприемник

Коды усиления рассчитываются по формуле:

$$E_{ia} - o_{n\ddot{e}\ddot{e}a\ddot{f}\ddot{e}y} = \frac{255}{O\ddot{d}\ddot{a}\ddot{a}\ddot{o}\ddot{a}\ddot{i}\ddot{u}\ddot{e} - \ddot{e}\ddot{y}\ddot{o}\ddot{d}\ddot{e}\ddot{d}\ddot{e}\ddot{a}\ddot{i} \ \delta - o_{n\ddot{e}\ddot{e}a\ddot{f}\ddot{e}y}}$$

Сигналы управления усилителем аналогового фотоприемника приведены в Таб. 3.5. Временные характеристики управления усилителем аналогового фотоприемника приведены в Таб. 3.6 и на Рис. 3.10.

Таб. 3.5 Описание сигналов аналогового фотоприемника

Сигнал	Описание
CLK	Тактовый сигнал
SYNK	Вход кадровой синхронизации. Данные D0 синхронизируются по спаду сигнала (переход из лог.1 в лог.0)
D0	Вход последовательных данных

Таб. 3.6 Временные характеристики аналогового фотоприемника

Параметр	Значение	Ед. изм.	Описание
$f_{CLK}$	50	МГц max	Частота тактового сигнала
$t_1$	20	нс min	Период тактового сигнала
$t_2$	8	нс min	Высокий уровень тактового сигнала
$t_3$	8	нс min	Низкий уровень тактового сигнала
$t_4$	30	нс min	Минимальное время низкого уровня сигнала синхронизации
$t_5$	13	нс min	Время от начала синхронизации до установки активного фронта тактового импульса
$t_6$	5	нс min	Время установки данных
$t_7$	3	нс min	Время хранения данных

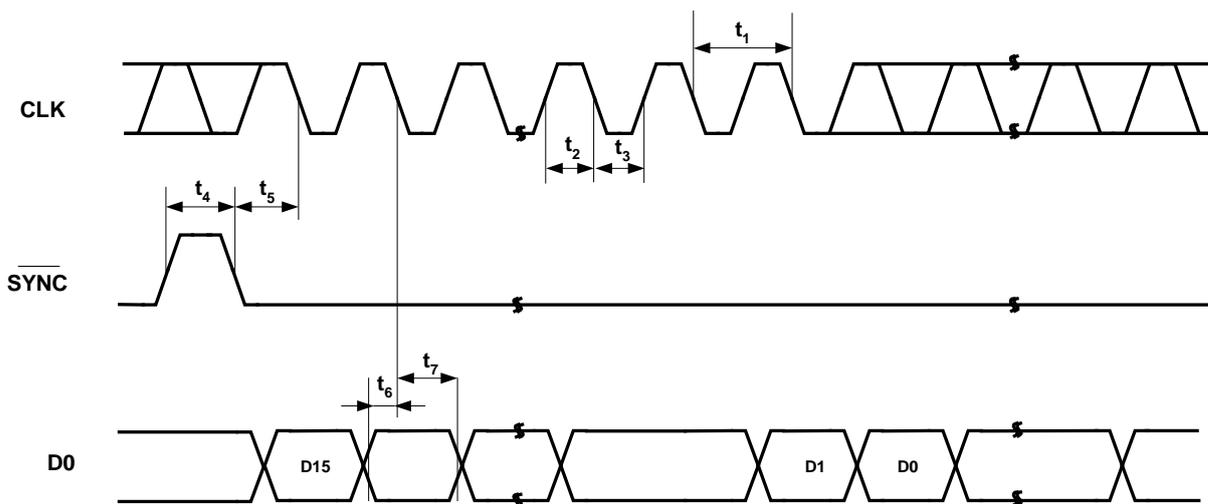


Рис. 3.10 Временные характеристики управления усилителем

### 3.5 Фотоприемник калибровки

Высокоскоростной цифровой фотоприемник калибровки предназначен для преобразования интенсивности прошедшего через зеркало М4 светового пучка в электрический сигнал. Этот сигнал после преобразования в цифровую форму используется для калибровки мощности пучка на выходе ОКЗ, являющейся сигналом обратной связи для управления АОМ1. Фотоприемник со сниженным уровнем шума характеризуется высокой разрешающей способностью, имеет цифровую регулировку усиления, встроенный 16 битный АЦП, 1МГц. Выходным параметром является цифровое значение мощности лазерного излучения. Основные функциональные элементы фотоприемника отображены на блок-схеме Рис. 3.11.

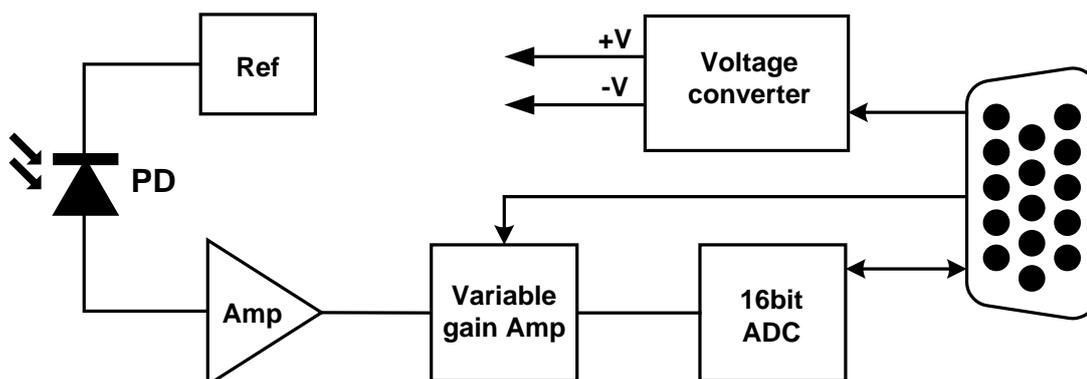


Рис. 3.11 Блок-схема цифрового фотоприемника

В состав устройства входят: PD - высокоскоростной фотодетектор; источник опорного напряжения Ref, задающий отрицательное напряжение смещения фотодиода; низкошумящий предусилитель Amp преобразует ток фотодиода в напряжение; также в фотоприемнике предусмотрен усилитель с переменным коэффициентом усиления Variable gain Amp для калибровки сигнала по уровню (может использоваться для коррекции спектральной чувствительности); 16-битный АЦП (ADC) преобразует сигнал в цифровой вид; стабилизированный преобразователь напряжения VC, который из входного напряжения формирует напряжения, необходимые для работы фотоприемника.

Спецификация параметров фотоприемника приведена в Таб. 3.7

Таб. 3.7 Спецификация параметров цифрового фотоприемника

Параметр	Формат	Min	Typ	Max	Ед. изм.
Управление усилителем	Последовательный 16 бит				
Вход логической единицы		1.7			В
Вход логического нуля				0.6	В
Чтение с фотодетектора	Последовательный 16 бит				
Выход логического нуля				0.4	В
Выход логической единицы		2.1			В
Максимальное значение измеряемого излучения				1	мВт/см <sup>2</sup>
ПИТАНИЕ					
Напряжение питания		4.8		5.2	В
Потребляемый ток			150	200	мА

Устройство имеет один разъем типа DB15C для подключения сигналов управления. Схема включения фотоприемника калибровки представлена на Рис. 3.12.

Таб. 3.8 Цоколевка разъема цифрового фотоприемника

Контакт	Сигнал	Вход/Выход	Описание
1	ADCD	Выход	Последовательные данные
2	ADCCLK	Выход	Тактовый сигнал
3	ADCSYNK	Выход	Сигнал кадровой синхронизации для выходных данных
4	ADCBUSY	Выход	Выход занят
5	ADCCONVST	Вход	Начало преобразования
6	VCC		Напряжение питания

7	VCC		Напряжение питания
8	GND		Земля
9	GND		Земля
10	GND		Земля
11	DACD	Вход	Последовательные данные
12	DACCLK	Вход	Тактовый сигнал
13	DACSYNC	Вход	Сигнал кадровой синхронизации для входных данных
14			зарезервирован
15			зарезервирован

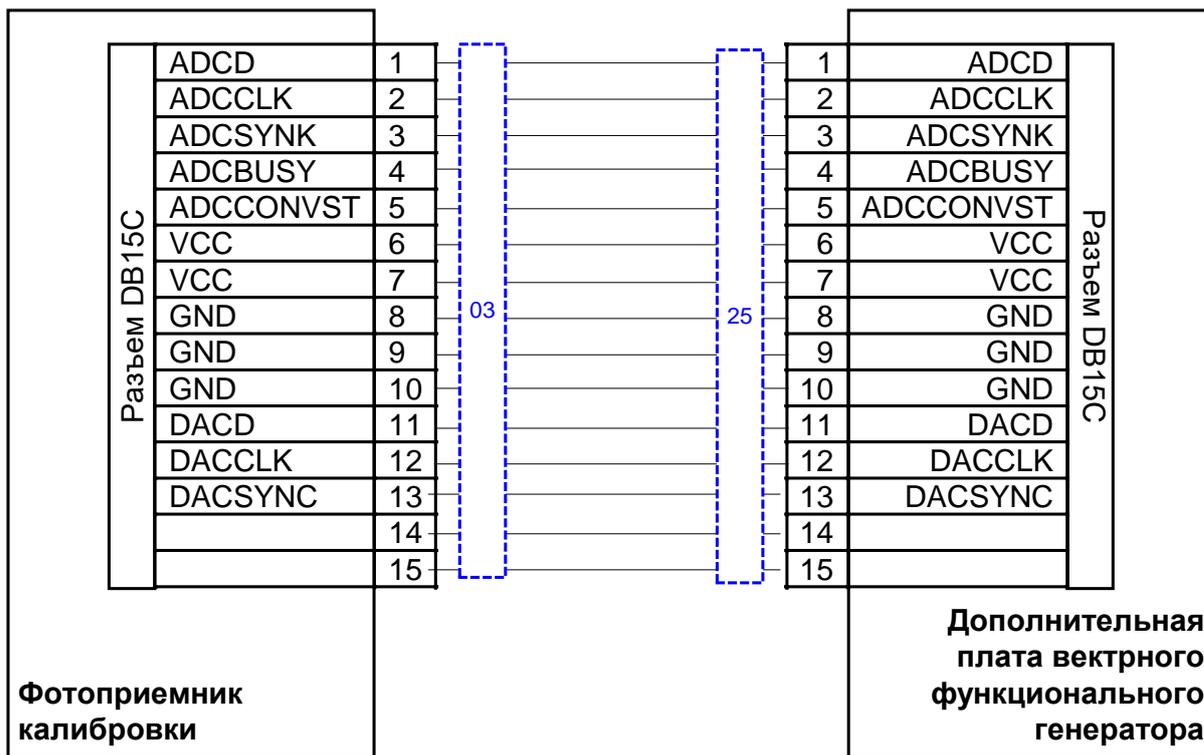


Рис. 3.12 Схема включения фотоприемника

Фотоприемник имеет два режима работы: управление усилением и чтение с фотоприемника.

Управление усилителем осуществляется посредством записи в фотоприемник кода усиления. Данные передаются в следующем формате (Рис. 3.13):

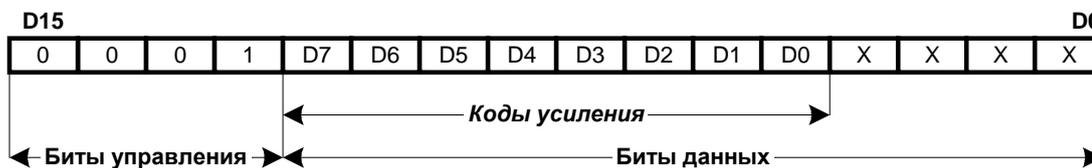


Рис. 3.13 Формат передачи кодов усиления в фотоприемник

Коды усиления рассчитываются по формуле:

$$\frac{255}{\text{Длина кода усиления}} \cdot \text{Значение кода усиления}$$

Сигналы управления усилителем и временные характеристики представлены в Таб. 3.9 Таб. 3.10, на Рис. 3.14

Таб. 3.9 Сигналы управления усилителем фотоприемника

Сигнал	Описание
DACCLK	Тактовый сигнал
DACSYNK	Вход кадровой синхронизации. Данные DACD синхронизируются по спаду сигнала (переход из лог.1 в лог.0)
DACD	Вход последовательных данных

Таб. 3.10 Временные характеристики управления усилителем фотоприемника

Параметр	Значение	Ед. изм.	Описание
$f_{CLK}$	50	МГц max	Частота тактового сигнала
$t_1$	20	нс min	Период тактового сигнала
$t_2$	8	нс min	Высокий уровень тактового сигнала
$t_3$	8	нс min	Низкий уровень тактового сигнала
$t_4$	30	нс min	Минимальное время низкого уровня сигнала синхронизации
$t_5$	13	нс min	Время от начала синхронизации до установки активного фронта тактового импульса
$t_6$	5	нс min	Время установки данных
$t_7$	3	нс min	Время хранения данных

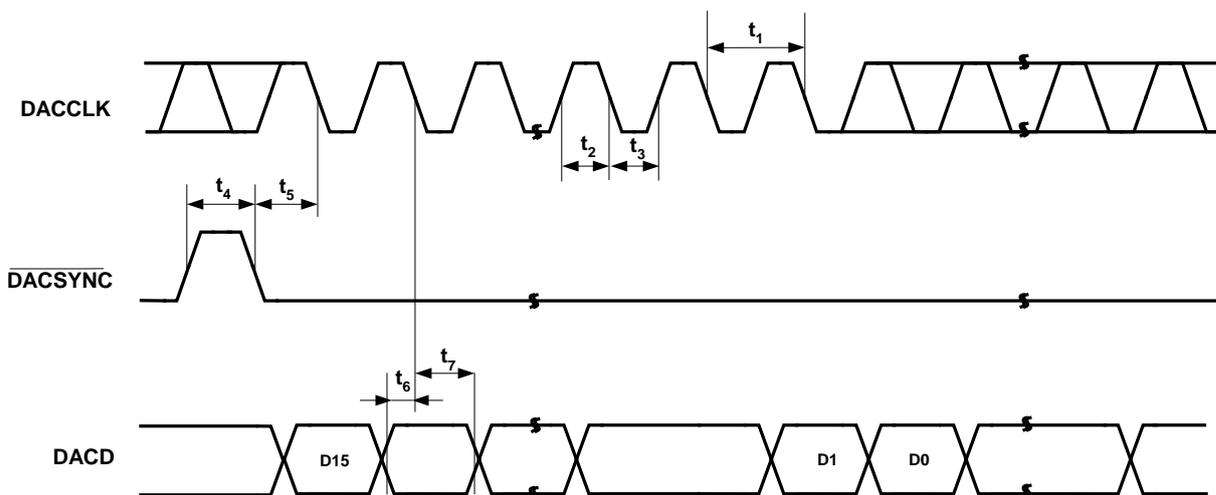


Рис. 3.14 Временные характеристики управления усилителем

Чтение с фотоприемника осуществляется под управлением сигналов, описанных в Таб. 3.11. Временные характеристики представлены в Таб. 3.12 и на Рис. 3.15

Таб. 3.11 Сигналы управления чтения с фотоприемника

Сигнал	Описание
ADCDCONVST	Начало преобразования. Запуск преобразования осуществляется по спаду сигнала (переход из лог.1 в лог.0).
ADCBUSY	АЦП занят (идет преобразование). Значение сигнала 1 и остается таким, пока преобразование не закончено.
ADCD	Выход последовательных данных (синхронный с ADCCLK).
ADCCLK	Тактовый сигнал, осуществляет синхронизацию выхода ADCD.
ADCSYNK	Выход кадровой синхронизации. Значение сигнала 1 во время вывода данных с ADCD

Таб. 3.12 Временные характеристики чтения с фотоприемника

Параметр	Значение	Ед. изм.	Описание
t <sub>1</sub>	30	нс max	Временной сдвиг между высоким уровнем ADCCNVST и высоким уровнем ADCBUSY
t <sub>2</sub>	1.75	мс	Высокий уровень ADCBUSY
t <sub>3</sub>	25	нс	Минимальный период тактового сигнала ADCCLK
t <sub>3</sub>	40	нс	Максимальный период тактового сигнала ADCCLK
t <sub>4</sub>	15	нс min	Высокий уровень тактового сигнала ADCCLK
t <sub>5</sub>	9.5	нс min	Низкий уровень тактового сигнала ADCCLK
t <sub>6</sub>	25	нс	Время от отмены задержки синхронизации ADCSYNC до установления низкого уровня ADCBUSY
t <sub>7</sub>	4	нс min	Время от начала задержки синхронизации ADCSYNC до первого фронта тактового сигнала ADCCLK
t <sub>8</sub>	1.25	мс	Время от установления высокого уровня ADCCNVST до начала задержки синхронизации ADCSYNC
t <sub>9</sub>	2	нс min	Время установки данных ADCD
t <sub>10</sub>	4.5	нс min	Время хранения данных ADCD
t <sub>11</sub>	3	нс min	Последний фронт тактового сигнала ADCCLK до конца задержки синхронизации ADCSYNC

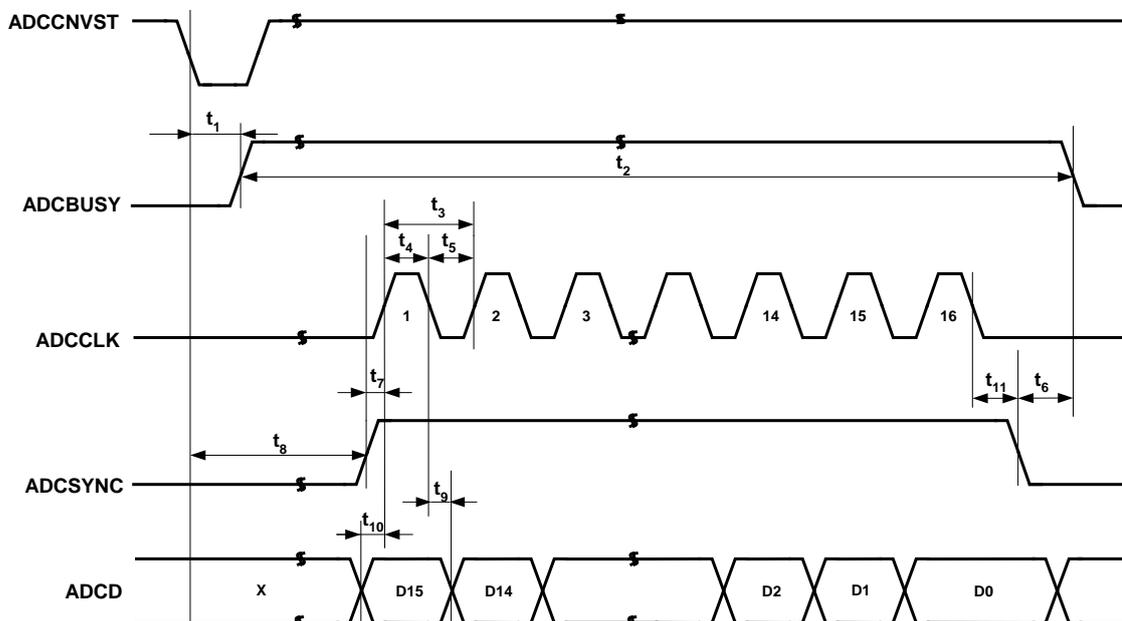


Рис. 3.15 Временные характеристики чтения с фотоприемника

#### 4 СИЛОВОЙ БЛОК

Силовой блок обеспечивает все узлы системы постоянными напряжениями. В силовой блок входят: промышленный источник питания для ПК; источник питания драйверов АОМов; источник питания усилителей тока; источник питания головки записи; высокочастотные драйверы АОМов; усилители тока. На драйверы АОМ поступает стабилизированное напряжение

+24 В, на вход усилителей тока линейной и угловой координат подается нестабилизированное напряжение  $\pm 18$  В, на плату угловой координаты и головку записи подается напряжение +5 и  $\pm 12$  В.

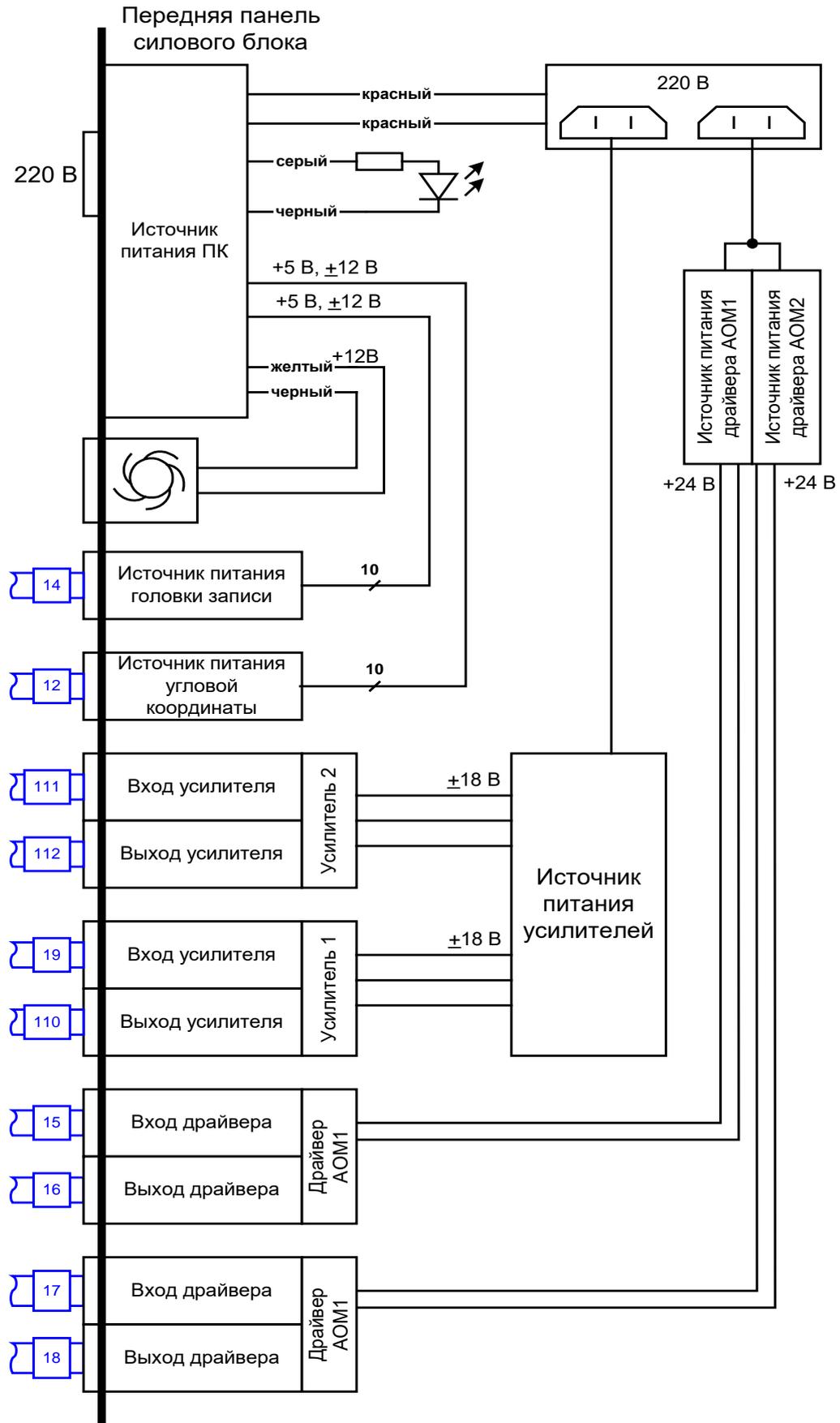


Рис. 4.1 Схема силового блока

Индикатором работы блока является светодиод на передней панели блока. Включение блока производится с помощью тумблера на передней панели. Схема соединений силового блока представлена на Рис. 4.1. Цифрами на рисунке показаны номера подведенных кабелей.

Питание силового блока осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц.

## 5 ВЕКТОРНЫЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР

Векторный функциональный генератор VFG3 функционирует на шине PCI компьютера, предназначен для распаковки и вывода информации в аналоговом формате, и осуществляет синхронизацию всех устройств системы. Частота аналоговой модуляции лежит в диапазоне от 0 до 50 МГц; частота цифровой модуляции - до 100 МГц. Устройство имеет встроенный драйвер стабилизации мощности и умножитель частоты синхроимпульсов.

Формирование сигнала генератора осуществляется синхронно с внешними или внутренними синхроимпульсами и импульсами начала кадра (метка начала оборота шпинделя). Наряду с аналоговым сигналом, генератор может формировать ряд независимых TTL-сигналов, для управления внешними устройствами (например, синхронизация АЦП, разрешение излучения). На блок-схеме Рис. 5.1 показаны основные функциональные элементы генератора.

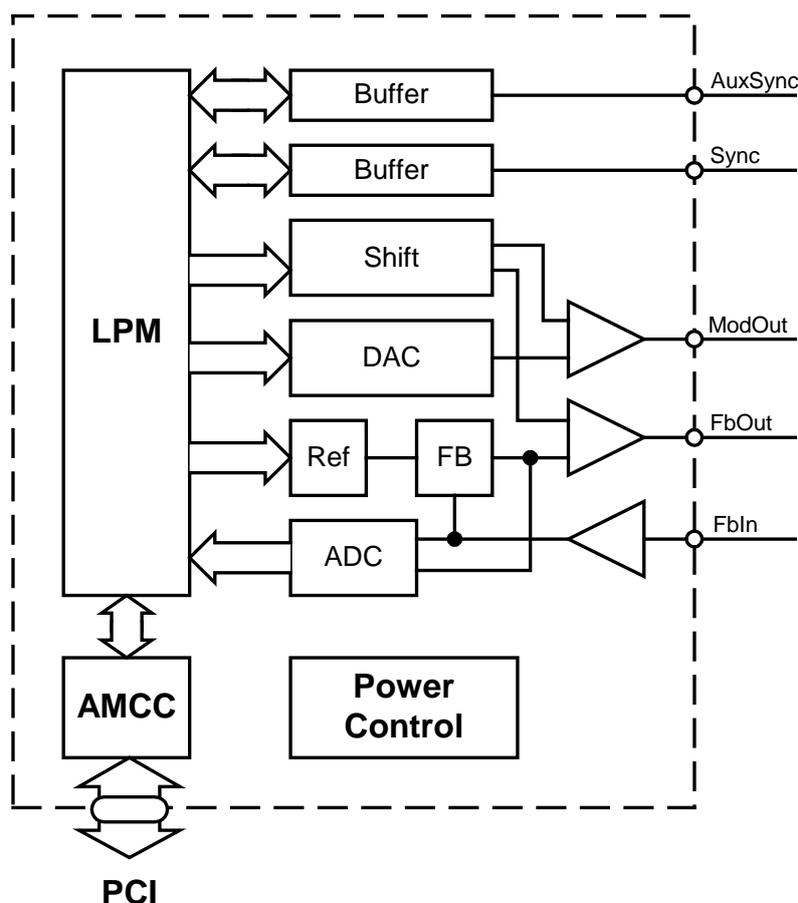


Рис. 5.1 Блок-схема векторного функционального генератора

Контроллер шины PCI AMCC осуществляет обмен данными между компьютером и генератором и обеспечивает своевременную подкачку данных. Логическая программируемая матрица LPM включает в себя блок управления синхронизацией SYNC, буфер FIFO, конечный автомат VFG, контроллер

импульсной модуляции PM Control и блок управления контролем драйвера обратной связи FB. Выходной каскад драйвера содержит два цифро-аналоговых преобразователя (DAC), управляющих работой усилителя постоянного тока, один из них формирует выходной аналоговый сигнал (DAC), другой - задает смещение выходного каскада (Shift) и опорный уровень для драйвера обратной связи (Ref). В состав устройства так же входит аналоговая схема управления и аналогово-цифровой преобразователь ADC, с помощью которого осуществляется контроль напряжений управления и входного сигнала.

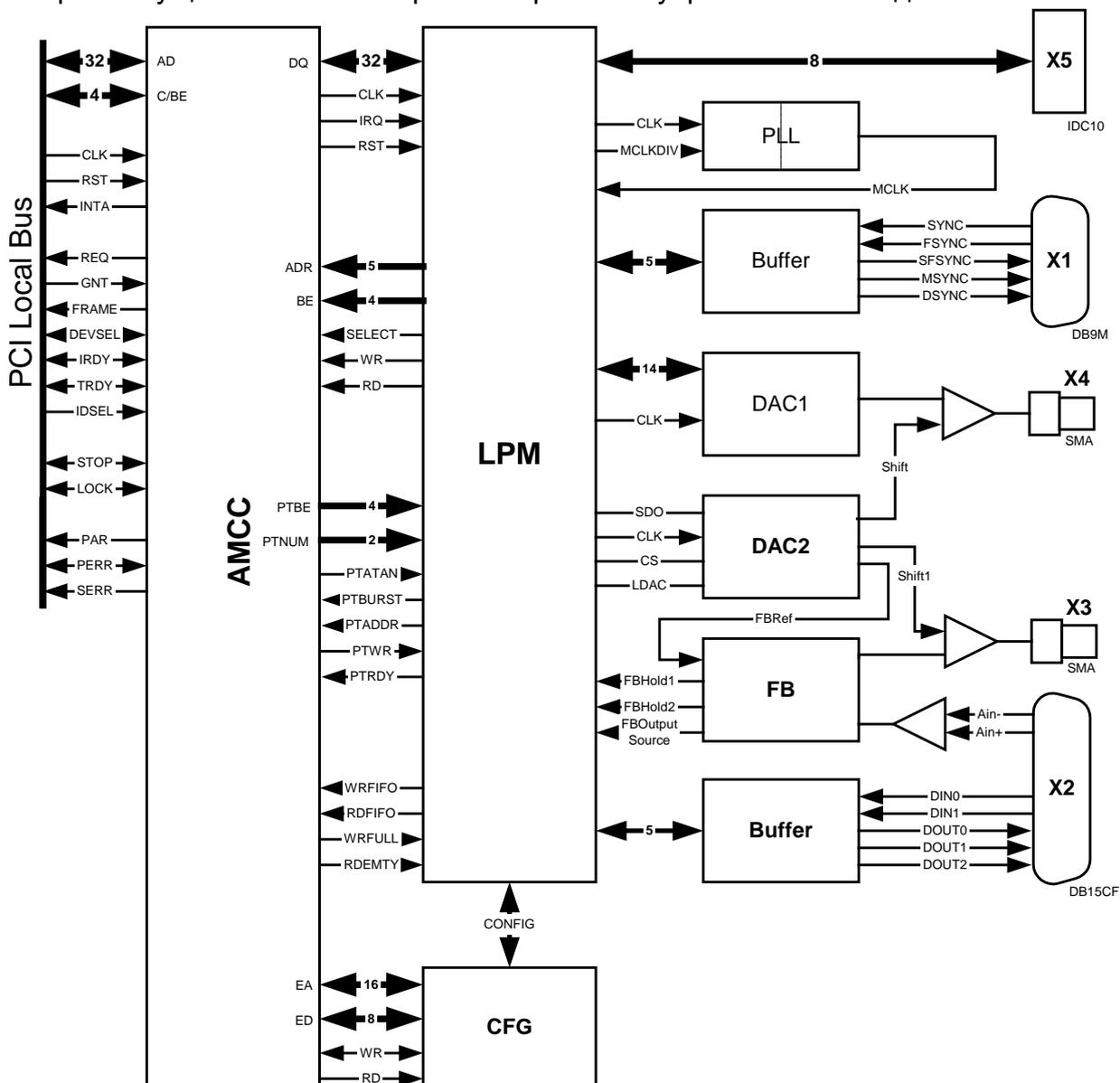


Рис. 5.2 Функциональная схема векторного функционального генератора

Функциональная схема приведена на Рис. 5.2.

Основные компоненты генератора:

- Контроллер шины PCI AMCC;
- Программируемая логическая матрица LPM (ALTERA);
- Цифро-аналоговый преобразователь DAC;
- Драйвер обратной связи FB;
- Умножитель частоты PLL;
- Буферы внешней синхронизации;
- Разъемы основной платы X1-X4;

– Разъем подключения дополнительной платы X5

Спецификация параметров векторного функционального генератора приведена в Таб. 5.1.

**Таб. 5.1 Спецификация параметров векторного функционального генератора**

Параметры	Формат	Min	Typ	Max	Ед. изм.
<b>СИНХРОНИЗАЦИЯ</b>					
Стандарт сигнала	TTL				
Уровень логического нуля				0.7	В
Уровень логической единицы		2.7			В
Частота синхронизации		0		50	МГц
Частота синхронизации со встроенным умножителем		0.1		30	МГц
Стабильность частоты синхронизации при использовании внутреннего умножителя		0.01			%
Выходной уровень нуля				0.4	В
Выходной уровень единицы		4.5			В
<b>Согласование с линией</b>					
Входное сопротивление			200		Ом
Выходное сопротивление			50		Ом
<b>АНАЛОГОВЫЙ ВЫХОД 1</b>					
Управление модулятором					
Выходное напряжение		-1		0	В
<b>Согласование с линией</b>					
Входное сопротивление			50		Ом
Время фронта			20		нс
Время спада			20		нс
Уровень шума				0.1	%
<b>АНАЛОГОВЫЙ ВЫХОД 2</b>					
Управление модулятором					
Выходное напряжение					
Ревизия А		-1		0	В
Ревизия В		0		+5	В
Время фронта			1		мкс
Время спада			1		мкс
Полоса обратной связи			1		МГц
Уровень шума				0.1	%
<b>ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ КАНАЛ СИНХРОНИЗАЦИИ</b>					
только Ревизия В	PECL				
Уровень логического нуля				0.7	В
Уровень логической единицы		2.7			В
<b>ПИТАНИЕ</b>					
Напряжение питания			+5		В
Потребляемый ток при напряжении питания +5В			0.5		А
Напряжение питания			-12		В
Потребляемый ток при напряжении питания -12В*			100		мА
Напряжение питания			+12		В
Потребляемый ток при напряжении питания +12В*			100		мА

\* без учета внешнего детектора

Устройство имеет 5 разъемов для подключения сигналов управления. 3 на основной плате и 2 на дополнительной (ревизия А) (Таб. 5.2, Рис. 5.3). Разъемы дополнительной платы (Ревизия А) (Таб. 5.3, Рис. 5.4):

Таб. 5.2 Разъемы контрольной платы векторного функционального генератора

Разъем	Тип	Описание
X1	DB9M	Разъем синхронизации
X2	DB15CF	Разъем входа фотодетектора драйвера обратной связи
X3	SMA	Разъем выхода управляющего сигнала драйвера обратной связи
X4	SMA	Разъем выхода модулятора
X5	IDC10	Внешний разъем

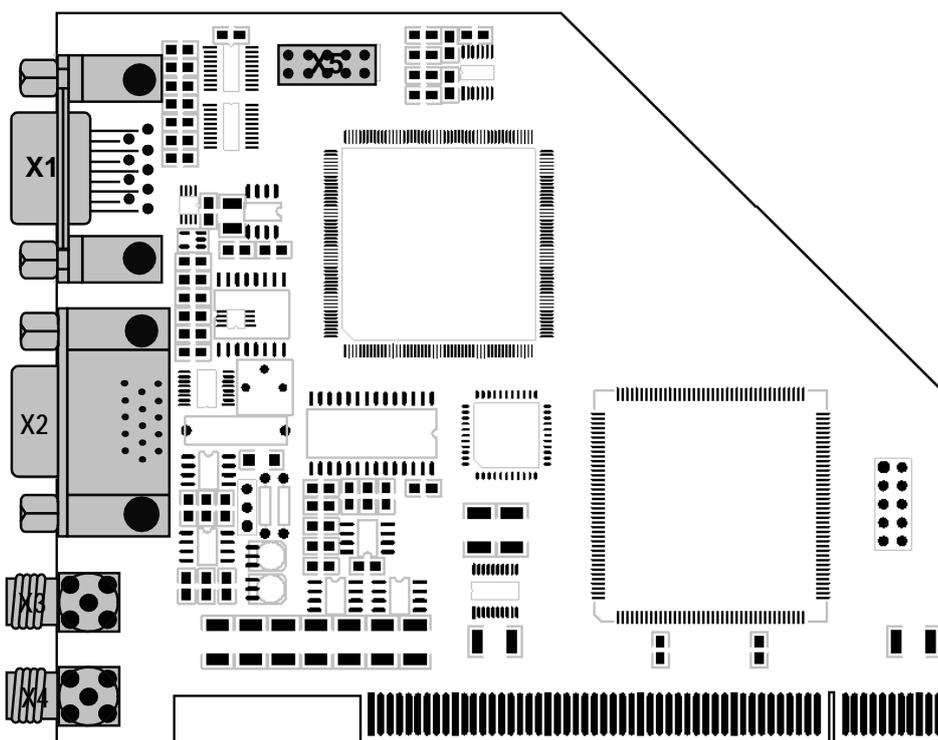


Рис. 5.3 Разъемы контрольной платы векторного функционального генератора

Таб. 5.3 Разъемы дополнительной платы векторного функционального генератора

Разъем	Тип	Описание
X1a	DB9F	Разъем внешней синхронизации/ цифрового фотодетектора
X2a	RG45	Разъем цифрового выхода модуляции
X3a	IDC10	Разъем платы управления

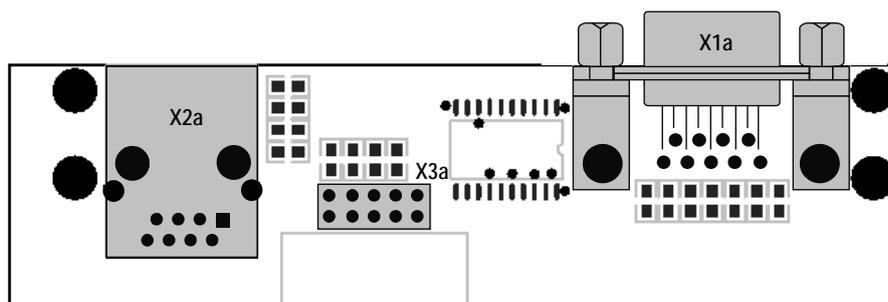


Рис. 5.4 Разъемы дополнительной платы

## Разъемы контрольной платы

**Разъем синхронизации**Обозначение на плате: **X1**Тип: **DB9M**

Цоколевка (Таб. 5.4)

**Таб. 5.4 Цоколевка разъема синхронизации**

Контакт	Сигнал	Описание
1	SIN0	Синхронизация (импульсы)
2	SIN1	Кадровая синхронизация (импульсы)
3	SOUT0	Выход синхронизации #1
4	SOUT1	Выход синхронизации #2
5	SOUT2	Выход синхронизации #3
6-9	GND	Цифровая земля

**Разъем фотоприемника обратной связи**Обозначение на плате: **X2**Тип: **DB15CF**

Цоколевка (Таб. 5.5)

**Таб. 5.5 Цоколевка разъема фотоприемника обратной связи**

Контакт	Сигнал	Описание
1	-11 В	Плюс источника питания
2	+11 В	Минус источника питания
3	GNA	Аналоговая земля
4	Ain1	Положительный аналоговый вход
5	Ain0	Отрицательный аналоговый вход
6	GND	Земля
7	GND	Земля
8	GND	Земля
9	+5 В	Цифровое напряжение питания
10	+5 В	Цифровое напряжение питания
11	SO6	Выход
12	SO5	Выход
13	SO4	Выход
14	SI3	Вход
15	SI2	Вход

**Разъем выхода управляющего сигнала обратной связи**Обозначение на плате: **X3**Тип: **SMA**

Цоколевка (Таб. 5.6)

**Таб. 5.6 Цоколевка разъема выхода управляющего сигнала обратной связи**

Контакт	Сигнал	Описание
1(core)	OUT	Выход
2(cover)	GND	Сигнальная земля

**Разъем выхода модулятора**Обозначение на плате: **X4**Тип: **SMA**

Цоколевка (Таб. 5.7)

**Таб. 5.7 Цоколевка разъема выхода модулятора**

Контакт	Сигнал	Описание
1(core)	OUT	Выход
2(cover)	GND	Сигнальная земля

**Разъем подключения дополнительной платы**

Внешние разъемы IDC10 являются разъемами управляющей и внешних плат. Используется внешний "точка-точка" кабель для соединения плат.

Обозначение на плате: **X5, X3a**

Тип: IDC10

Цоколевка (Таб. 5.8)

**Таб. 5.8 Цоколевка разъема подключения дополнительной платы**

Контакт	Сигнал	Описание
1	VCC	+ 5 В
2	GND	Земля
3	I/O	Вход / выход
4	I/O	Вход / выход
5	I/O	Вход / выход
6	I/O	Вход / выход
7	I/O	Вход / выход
8	I/O	Вход / выход
9	I/O	Вход / выход
10	I/O	Вход / выход

Разъемы дополнительной платы

**Разъем подключения к плате управления**

Внешние разъемы IDC10 являются разъемами управляющей и внешних плат. Используется внешний "точка-точка" кабель для соединения плат.

Обозначение на плате: **X5, X3a**

Тип: IDC10

Цоколевка (Таб. 5.9)

**Таб. 5.9 Цоколевка разъема подключения контрольной платы**

Контакт	Сигнал	Описание
1	VCC	+ 5 В
2	GND	Земля
3	I/O	Вход / выход
4	I/O	Вход / выход
5	I/O	Вход / выход
6	I/O	Вход / выход
7	I/O	Вход / выход
8	I/O	Вход / выход
9	I/O	Вход / выход
10	I/O	Вход / выход

**Разъем внешней синхронизации / цифрового фотодетектора**

Обозначение на плате: **X1a**

Тип: **DB9M**

Цоколевка (Таб. 5.10)

**Таб. 5.10 Цоколевка разъема внешней синхронизации/цифрового фотоприемника**

Контакт	Сигнал	Описание
1	SIN0	Вход синхронизации #1
2	SIN1	Вход синхронизации #2
3	SOUT0	Выход синхронизации #1
4	SOUT1	Выход синхронизации #2
5	SOUT2	Выход синхронизации #3
6-8	GND	Цифровая земля
9	VCC	Цифровое напряжение питания

**Разъем цифрового выхода модуляции**

Обозначение на плате: **X2a**

Тип: RG48

Цоколевка (Таб. 5.11)

Контакты 1 и 2 соединены на плате у первого источника сигнала и используются для различных систем управления.

**Таб. 5.11 Цоколевка разъема цифрового выхода модуляции**

Контакт	Сигнал	Описание
1	TTL	TTL выход синхронизации*
2	PECL+	PECL выход синхронизации*
3	PECL-	PECL выход синхронизации
4		
5		
6	GND	Цифровая земля
7	VCC	Цифровое напряжение питания
8	RESET	Сброс

Схема включения векторного функционального генератора с маркировкой кабелей представлена на Рис.5.5.

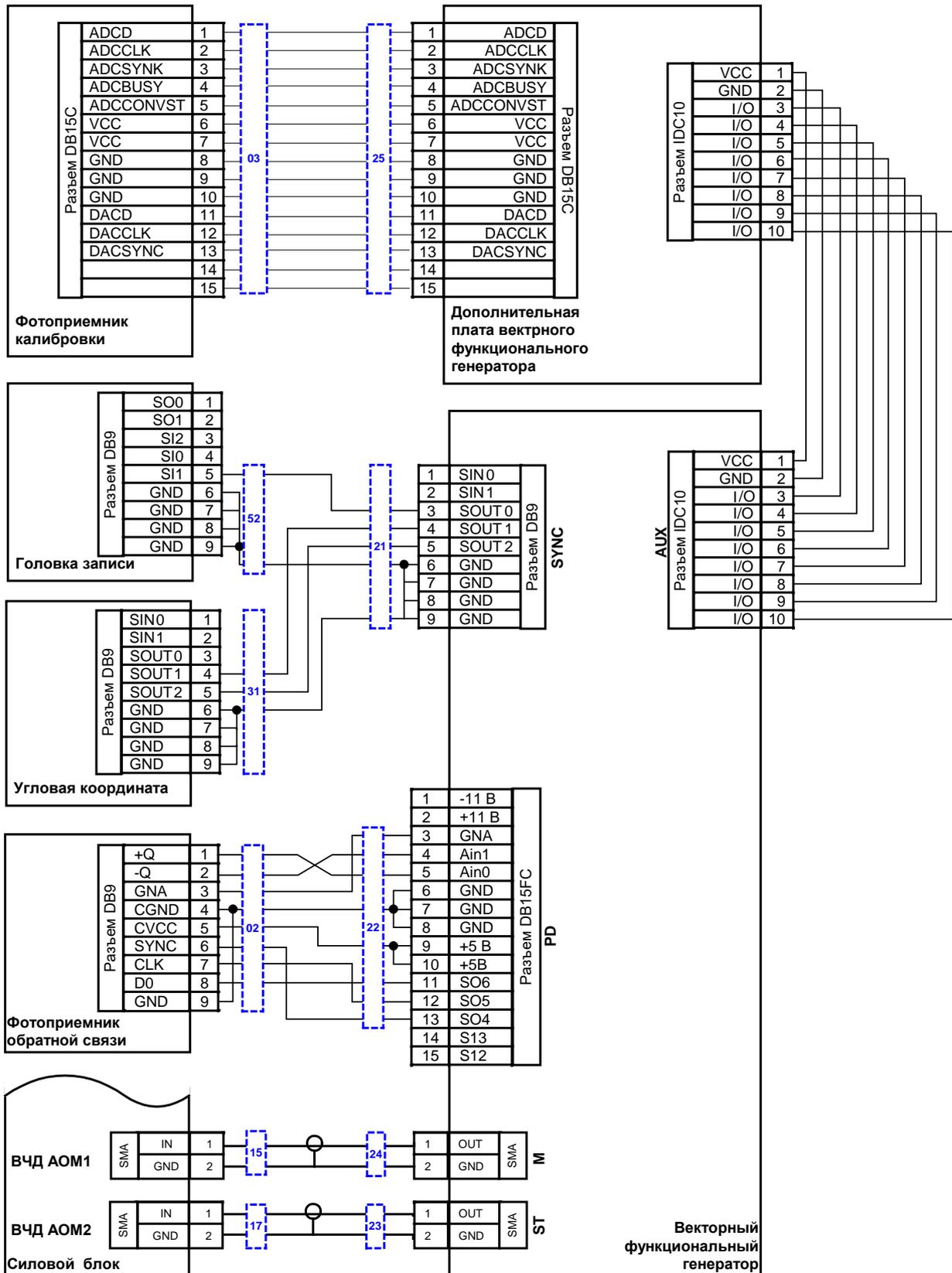


Рис. 5.5 Схема подключения векторного функционального генератора

### Вход синхронизации

Подключение внешней синхронизации осуществляется через разъем X1. Параметры сигналов указаны в Таб. 5.12. В процессе синхронизации участвуют 2 сигнала: SYNC и FSYNC. Временные характеристики представлены в Таб. 5.13 и на Рис. 5.6.

Синхронизация устройства осуществляется по фронту сигнала синхронизации SYNC (переход с лог. 0 в лог. 0). Запуск устройства происходит по высокому уровню сигнала синхронизации кадра FSYNC (лог. 1) и первому фронту сигнала синхронизации, при условии, что работа разрешена.

Для нормальной работы устройства необходимо постоянное присутствие сигнала синхронизации на входе, если установлен режим внешней синхронизации. В режиме внутренней синхронизации это условие выполняется автоматически. Также необходимо, чтобы до первого активного уровня синхронизации кадра прошло минимум 16 синхроимпульсов. Минимальный размер кадра составляет 16, максимальный 4294967280.

Таб. 5.12 Параметры сигналов входа синхронизации векторного функционального генератора

Параметр	Значение	Ед. изм.
Стандарт сигнала	TTL	
Уровень логической единицы	2.7	V min
Уровень логического нуля	0.7	V max
Входное сопротивление	200	Ом typ

Таб. 5.13 Временные характеристики входа синхронизации векторного функционального генератора

Параметр	Значение	Ед. изм.	Описание
T1	20	нс min	Время цикла SYNC
T2	8	нс min	Время высокого уровня SYNC
T3	8	нс min	Время низкого уровня SYNC
T4	10	нс min	Время от нарастания FSYNC до установления активного фронта SYNC
T5	T1	нс min	Время высокого уровня FSYNC
T6	T1	нс min	Неактивное состояние FSYNC

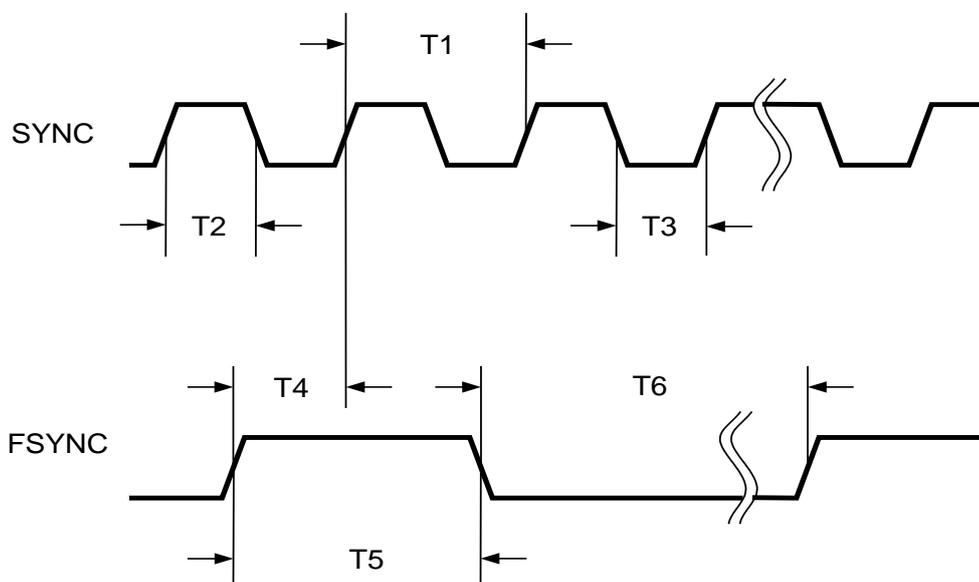


Рис. 5.6 Временные характеристики входа синхронизации векторного функционального генератора

### Умножение синхроимпульсов

В устройстве предусмотрено 2 режима работы с синхроимпульсами: использование в качестве синхронизации исходных синхроимпульсов или использование умноженных синхроимпульсов. Умножение синхроимпульсов осуществляется генератором, управляемым напряжением и фазовым детектором.

Частота умноженных синхроимпульсов лежит в диапазоне 25-50 МГц. Чем больше коэффициент умножения, тем более жесткие требования предъявляются к стабильности частоты исходных синхроимпульсов. При коэффициенте умножения 200 она должна составлять не менее  $1 \cdot 10^{-5}$ . Значение регистра умножителя рассчитывается как  $M = K_{\text{умножения}} - 1$ .

Временные характеристики умножения синхроимпульсов представлены на Рис. 5.7.

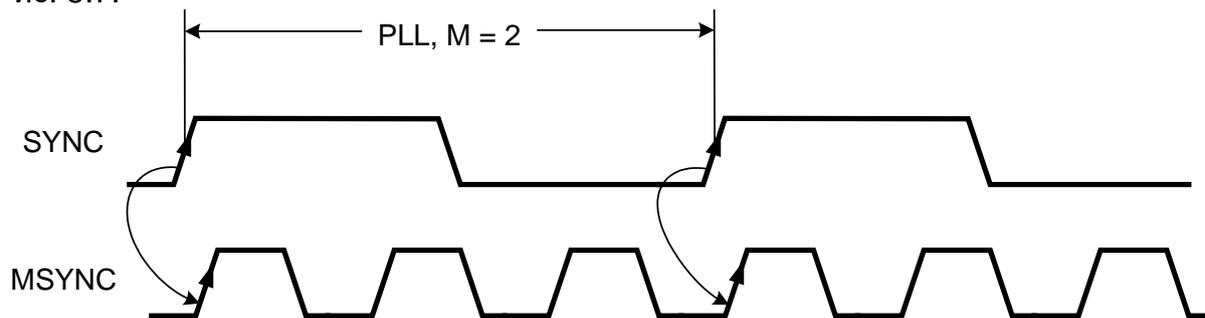


Рис. 5.7 Умножение синхроимпульсов векторного функционального генератора

### Формирование сигнала синхронизации кадра

Внутренний сигнал синхронизации кадра формируется из исходного сигнала синхронизации кадра и синхроимпульсов. В устройстве предусмотрена возможность сдвигать сигнал синхронизации кадра на заданное число синхроимпульсов.

Значение сдвига записывается в регистр сдвига кадровой синхронизации. Диапазон допустимых значений от 0 до «Размер кадра» -1. При этом задержка составляет 2 синхроимпульса. Например, при значении регистра сдвига синхронизации кадра  $N = 1$  составляет 3 синхроимпульса.

Временные характеристики формирования сигнала синхронизации кадра представлены на Рис. 5.8.

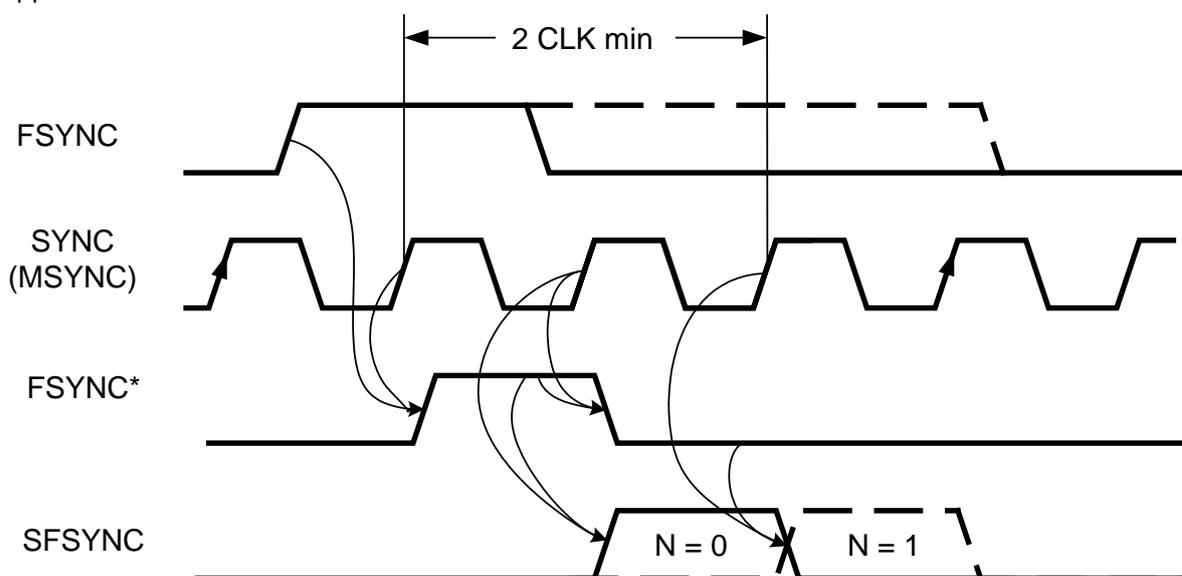


Рис. 5.8 Формирование сигналов синхронизации кадра векторного функционального генератора

### Работа автомата распаковки векторов (данных)

Автомат распаковки векторов использует 3 входных сигнала управления MSYNC, SFSYNC и VFG Start. Первые два сигнала являются аппаратными, последний - формируется посредством записи соответствующего значения бита в регистр управления.

Запуск автомата осуществляется по высокому уровню кадровой синхронизации и первому фронту синхроимпульсов, если запуск был разрешен (переход VFG Start из лог. 0 в лог. 1). Остановка происходит, если получена команда «Стоп» или произошла ошибка. Автомат предоставляет данные ко второму такту (импульсу синхронизации) после начала работы, поэтому задержка вывода данных составляет 2 такта.

Сигнал готовности VFG Ready доступен для просмотра через регистр состояния.

Временные характеристики работы автомата распаковки векторов представлены на Рис. 5.9.

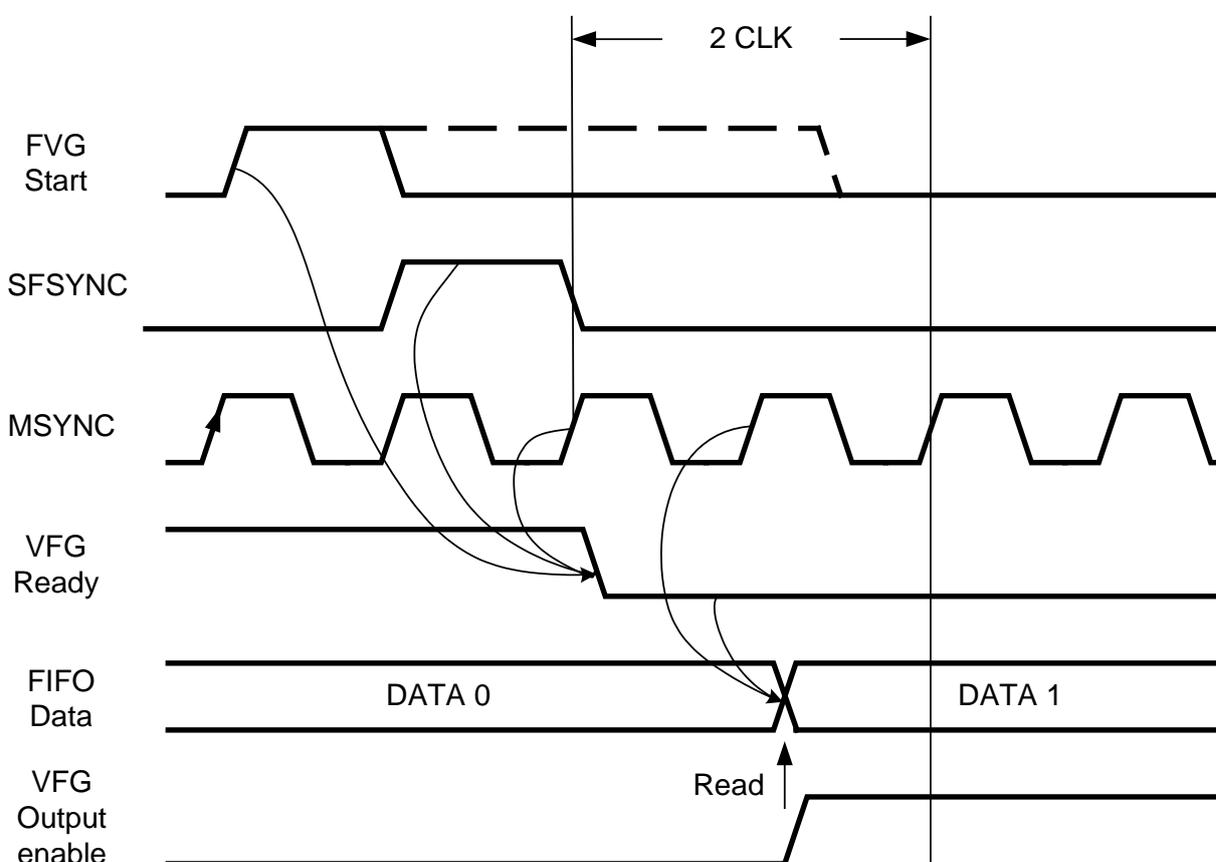


Рис. 5.9 Работа автомата распаковки векторов (данных) векторного функционального генератора

## 6 БЛОК УГЛОВОЙ КООРДИНАТЫ

Блок угловой координаты предназначен для поддержания необходимой скорости вращения пластины записи и является сканирующей координатой.

### 6.1 Аэростатический шпиндель

В гранитной плите основания выполнено посадочное отверстие, в котором размещена шпиндельная группа привода вращения, имеющая три опоры,

используемые для регулировки его горизонтального положения. В состав шпиндельной группы входят: шпиндель на аэростатических опорах 1, планшайба 3, электродвигатель, устройство вакуумного прижима подложек, оптоэлектронный датчик угла поворота шпинделя 2, плата управления приводом вращения. Шпиндель представляет собой аэростатический подшипник на газовой смазке, который вращается с помощью двигателя.

Установочный стол в горизонтальной плоскости лежит на трех точках опоры, расположенных под углом 120°. Все три имеют регулировочные винты для перемещения по высоте. Такая конструкция стола позволяет довольно легко выставить его рабочую поверхность в горизонтальной плоскости.

Подложки 4 крепятся к планшайбе и удерживаются посредством вакуумного прижима.

Упрощенная схема шпинделя представлена на Рис. 6.1

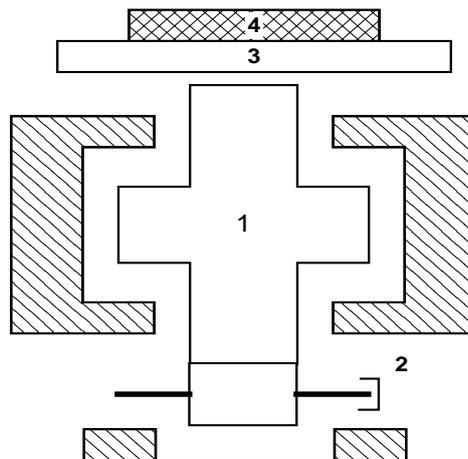


Рис. 6.1 Упрощенная схема шпинделя

## 6.2 Датчики углового положения и начала оборота

Устройство имеет два датчика углового положения и один датчик начала оборота. Датчики углового положения состоят из стеклянного лимба, считывающих головок платы с электронными узлами для предварительной обработки сигналов. Датчики располагаются в нижней части шпинделя. Лимб жестко связан с валом шпинделя и вращается вместе с ним. Для устранения радиальных биений оси вращения вала используются две диаметрально расположенные по отношению к лимбу считывающие головки. Головки и печатная плата неподвижны. Они жестко закреплены на корпусе аэростатического подшипника. Лимб имеет 18000 штрихов на один оборот.

Каждая считывающая головка имеет встроенный осветитель и матрицу фотоприемников.

## 6.3 Подвод вакуума

Подвод вакуума производится к планшайбе и обеспечивает вакуумный прижим подложки. Подвод вакуума осуществляется с поста очистки и откачки воздуха. Параметры поста описаны в пункте 2.3. Схема подвода вакуума приведена на Рис. 2.2

## 7 БЛОК ЛИНЕЙНОЙ КООРДИНАТЫ

Основное назначение блока линейной координаты заключается в  
*Лаборатория лазерных технологий, Институт Автоматики и Электростроения СО РАН*

прецизионном управлении перемещениями каретки. Каретка линейной координаты перемещается на азростатических подшипниках по прямоугольным направляющим с помощью линейного двигателя. В качестве датчика текущей координаты каретки служит лазерный интерферометр, состоящий из гелий-неонового лазера, интерферометра и блока фотоприемников. Управление перемещениями осуществляется контроллером линейной координаты, конструктивно находящимся в ISA слоте управляющего компьютера. Сигналы управления поступают на линейный двигатель.

Принцип работы блока линейной координаты рассмотрим по упрощенной структурной схеме (Рис. 7.1).

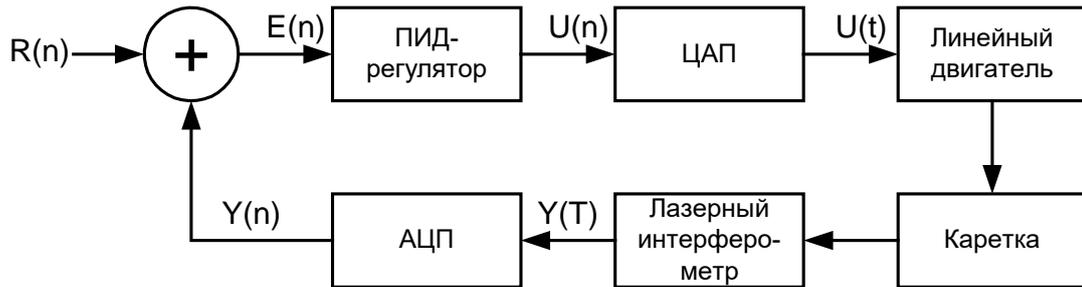


Рис. 7.1 Структурная схема работы блока линейной координаты

Непрерывная информация о положении каретки  $Y(T)$  поступает с лазерного интерферометра на АЦП, где преобразуется в дискретный сигнал обратной связи  $Y(n)$ . Сигнал  $Y(n)$  вычитается из опорного сигнала  $R(n)$ , где  $R(n)$  - требуемое положение каретки. Полученная разность  $E(n)$  сигнала рассогласования используется ПИД-регулятором для расчета соответствующего управляющего воздействия  $U(n)$ . Дискретный сигнал  $U(n)$ , поступающий на вход цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), преобразуется им в непрерывный электрический сигнал, используемый для управления линейными двигателями.

В основе алгоритма работы ПИД-регулятора лежит рекуррентное уравнение, описывающее в дискретном виде выбранный закон управления:

$$U_n = U_{n-1} + K_1 \cdot E_n + K_2 \cdot E_{n-1} + K_3 \cdot E_{n-2},$$

где  $U_n$  и  $U_{n-1}$  - вычислительное управляющее воздействие на текущем и предыдущем тактах, а  $E_n$ ,  $E_{n-1}$  и  $E_{n-2}$  - значения сигнала ошибки на последних трех тактах квантования. Коэффициенты  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  равны, соответственно:

$$K_1 = K_p + \frac{K_D}{T} + K_I \cdot T,$$

$$K_2 = K_I \cdot T - 2 \cdot \frac{K_D}{T},$$

$$K_3 = \frac{K_D}{T} - K_p,$$

где  $K_p$ ,  $K_D$  и  $K_I$  - коэффициенты при пропорциональной, дифференциальной и интегральной составляющей соответственно, а  $T$  - период дискретизации, равный  $T=60$  мкс. Коэффициенты регулятора подбираются экспериментально.

## 7.1 Каретка линейной координаты

Перемещение по радиусу сфокусированного на подложку пучка осуществляет подвижная каретка, на которой закреплен микроскоп. В основу

конструкции каретки положен принцип направляющей на газовой смазке.

Упрощенная блок-схема линейной координаты приведена на Рис. 7.2

## 7.2 Ситалловые направляющие

На гранитном основании 1 установлены четыре прямоугольные направляющие А, В, С и D. Направляющие выполнены из ситалла, а их рабочие поверхности М и N, доведены и отполированы по оптической технологии. Отступление от плоскостности базовых поверхностей М и N лежит в пределах одной длины волны. Угол  $90^\circ$  между М и N отступает от номинального значения не более, чем на  $1''$ . Контроль плоскостности и угла осуществляется интерференционным способом на интерферометре «Zygo».

Рабочие поверхности направляющих А, В, С и D выставлены параллельно друг другу с точностью  $\sim \pm 1''$ . Параллельность контролируется автоколлимационным методом, а расстояние между А и В, а также С и D по наборам концевых мер.

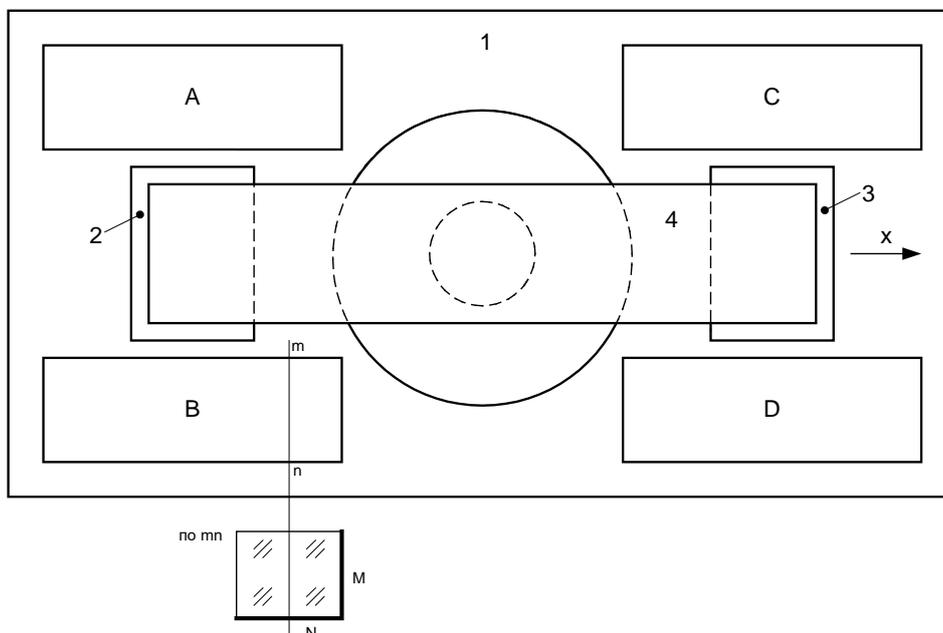


Рис. 7.2 Упрощенная блок-схема линейной координаты

Подвижная каретка линейной координаты 4, на которой закреплена головка записи, соединяет два ползуна 2 и 3. Каретка осуществляет перемещение по радиусу пучка, сфокусированного на подложку. В основу конструкции положен принцип направляющей на газовой смазке («направляющие на воздушной подушке»). В ползуны поступает сжатый воздух для поддержания давления в направляющих в диапазоне  $0.7 \div 3$  атмосферы. Ползуны изготовлены из хорошо отстаренного чугуна ( $\sim 40$  лет) и их рабочие поверхности отшлифованы таким образом, чтобы клиновидность не превышала  $6 \text{ мкм}$ . Общая непрямолинейность направляющих при давлении воздуха  $2 \text{ атм}$ . Не превышает  $1''$  (контроль осуществляется по автоколлиматору АКМ-0.5)

Поскольку в конструкции применяются направляющие из ситалла, при эксплуатации они требуют особо осторожного обращения.

**Внимание!** Недопустимо:

– осуществлять перемещение подвижной каретки без подачи воздуха в направляющие или при давлении ниже, чем  $0.7 \text{ атм}$ ;

- устанавливать или помещать между направляющими на основание какие-либо предметы и устройства, которые могут привести к повреждению рабочих поверхностей;
- протирать поверхности направляющих грубыми салфетками и другими не предназначенными для протирки оптики материалами.

### **7.3 Линейный двигатель**

Линейный двигатель предназначен для перемещения каретки линейной координаты. Управление линейным двигателем осуществляется с помощью сигналов управления контроллера линейной координаты.

### **7.4 Контроллер линейной координаты**

Контроллер линейной координаты предназначен для приема и обработки квадратурного сигнала с блока фотоприемников лазерного интерферометра, интерполяции и преобразование его в текущее значение координаты, управления линейными перемещениями каретки линейной координаты в составе системы CLWS-200.

Контроллер линейной координаты обеспечивает:

- расчет текущего значения координаты;
- удержание каретки линейной координаты в точке с заданными координатами с точностью не хуже  $\pm 0.05$  мкм;
- перемещение каретки линейной координаты в точку с заданными координатами;
- перемещение с постоянной, заданной скоростью в произвольном направлении;
- синхронное, совместно с контроллером угловой координаты, перемещение по спиральной траектории;
- поиск точки начала отсчета (репера) в автоматическом режиме;
- определение момента пересечения предварительно заданной координаты и информирование об этом событии;
- определение момента пересечения точки остановки в «спиральном режиме»;
- автоматическое прекращение «спирального режима» и информирование об этом событии;
- слежение и отображение состояния датчиков аварийной ситуации (датчик давления воздуха и т.д.);
- безопасное завершение работы при обнаружении аварийных ситуаций;
- слежение за уровнем мощности HE-NE лазера;
- управление параметрами входных сигналов (усиление сдвиг) и управление параметрами пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора.

Конструктивно контроллер представляет собой печатную плату, вставляемую в свободный слот расширения (ISA -16bit) управляющего компьютера (HOST-компьютера) типа IBM PC.

Функциональная схема контроллера линейной координаты приведена на Рис. 7.3.



процессором посредством цифро-аналогового преобразователя DAC и регистра RG3.

Для своевременной реакции контроллера линейной координаты на сигналы от датчиков (датчик нуля, датчик давления воздуха, концевые выключатели и т.д.) используется система прерываний. Она состоит из входного формирователя BF4 регистра-защелки RG5 и регистра-маски RG6. При обнаружении любого сигнала, если установлен соответствующий бит в регистре-маске, на входе IRQ сигнального процессора формируется сигнал запроса прерывания (interrupt request).

Регистр RG4 и буфер BF3 используется для управления режимом работы источника питания линейного двигателя. Обмен данными между регистрами и внутренней магистралью контроллера (ADR/DATA BUS) осуществляется через шинный формирователь BF2 и дешифратор адреса DC2.

Для связи контроллера линейной координаты с управляющим компьютером используется 16 разрядный порт интерфейса с хост-процессором (HIP). Селектор адреса CS1 и дешифратор DC3 используется для формирования соответствующих управляющих сигналов (host iow, host ior, host sel). Собственно передача данных осуществляется через шинный формирователь BF7.

Следующие функциональные узлы контроллера: регистры RG3- RG6, дешифраторы DC2, DC3, шинный формирователь BF2 сконфигурированы внутри программируемой логической схемы.

Последовательный порт SPORT1 процессора цифровой обработки сигналов и магистральный усилитель BF5 используются для приема и передачи сигналов синхронизации контроллеру угловой координаты.

Источники вторичного электропитания U2, U3 и U4 вырабатывают необходимые для работы контроллера напряжения.

Для подключения сигналов управления на плате контроллера линейной координаты есть два разъема: входной типа DBH-15F и выходной DBH-15V

Обозначение на схеме: X1 Цоколевка (Таб. 1.1).

**Таб. 7.1 Цоколевка входного разъема платы контроллера линейной координаты**

Контакт	Сигнал	Описание
1	SINUS	Дифференциальный вход квадратурного сигнала
2	COSINUS	Дифференциальный вход квадратурного сигнала
3	REPER	Не используется
4	+ 12 V	Напряжение питания
5	+12 V	Напряжение питания
6	- SINUS	Дифференциальный вход квадратурного сигнала
7	- COSINUS	Дифференциальный вход квадратурного сигнала
8	- REPER	Не используется
9	-12 V	Напряжение питания
10	-12 V	Напряжение питания
11	GND	Аналоговая земля
12	GND	Аналоговая земля
13	GND	Аналоговая земля
14		
15		

Обозначение на схеме: X2 Цоколевка (Таб. 7.2).

**Таб. 7.2 Цоколевка выходного разъема платы контроллера линейной координаты**

Контакт	Сигнал	Описание
1	LIGHT ON/OFF	Не используется
2	POWER ON/OFF	Не используется

3	INPUT3	Не используется
4	INPUT2	Не используется
5	INPUT1	Не используется
6	GND	Цифровая земля
7	GND	Цифровая земля
8	GND	Цифровая земля
9	INPUT5	Не используется
10	INPUT4	Не используется
11	SDATA	Данные управления усилителем
12		
13		
14	TFS	Кадровая синхронизация
15	SCLK	Синхроимпульсы

Схема подключения платы контроллера линейной координаты представлена на Рис. 7.4.

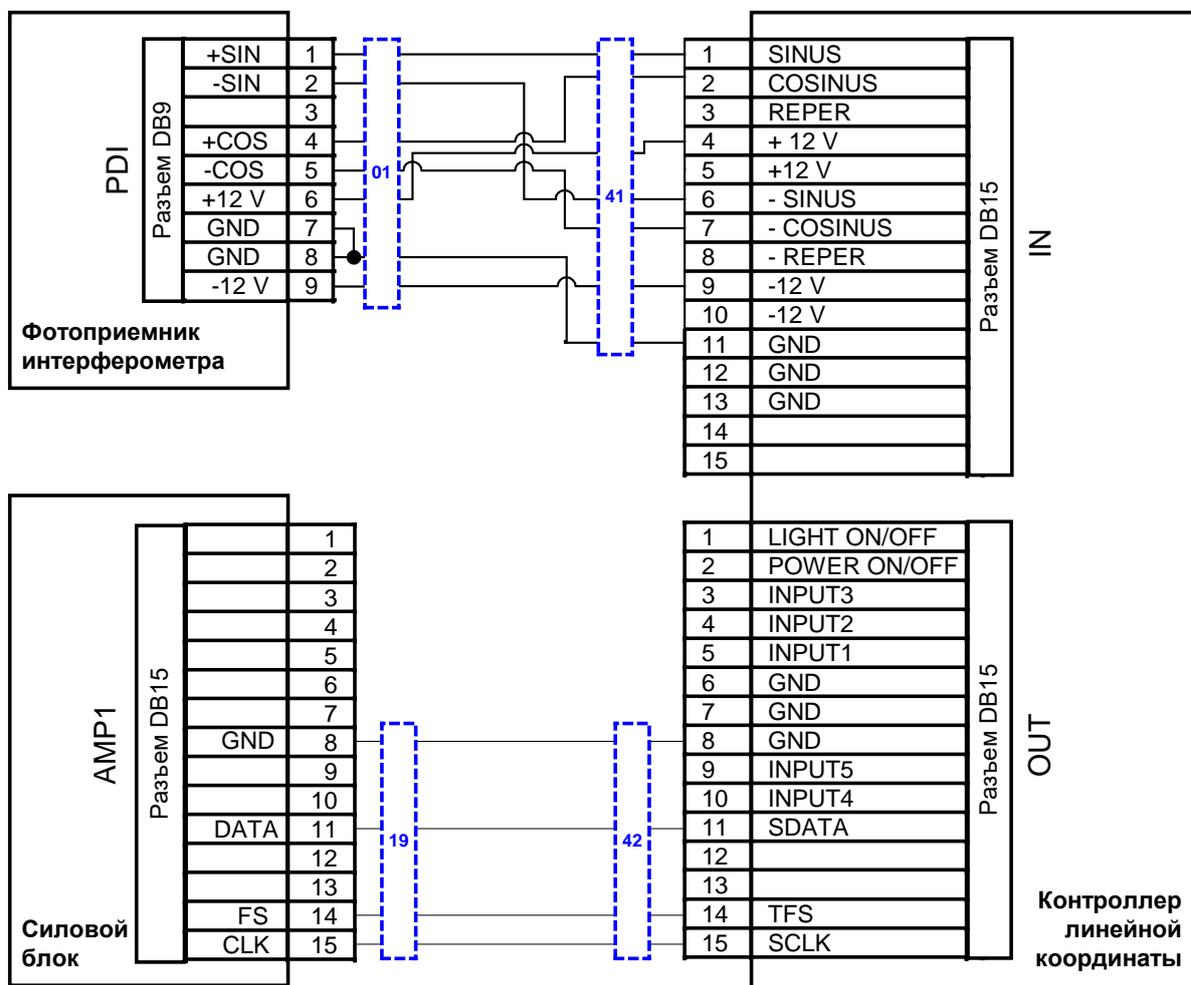


Рис. 7.4 Схема включения контроллера линейной координаты

## 7.5 Лазерная интерферометрическая система

Для контроля перемещений каретки линейной координаты (в схеме обратной связи) применен лазерный поляризационный интерферометр с двойным прохождением пучков. Принципиальная оптическая схема интерферометра

приведена на Рис. 7.5.

Интерферометр состоит из трех основных блоков:

- осветительной части (I);
- собственно интерферометра (II);
- приемной части (III).

В осветительную часть входят:

- источник излучения (гелий-неоновый стабилизированный лазер) (1);
- коллиматор (2);
- поворотное зеркало (призма) (3).

Блок интерферометра состоит из:

- поляризационного кубика (4);
- двух отражающих зеркал (5, 6);
- трипфель-призмы (7);
- двух поляризационных пластин (8,9).

Приемная часть состоит из:

- фазовой дифракционной решетки (10);
- линзы (11);
- трех поляроидов (12);
- трех фотоприемников (13).

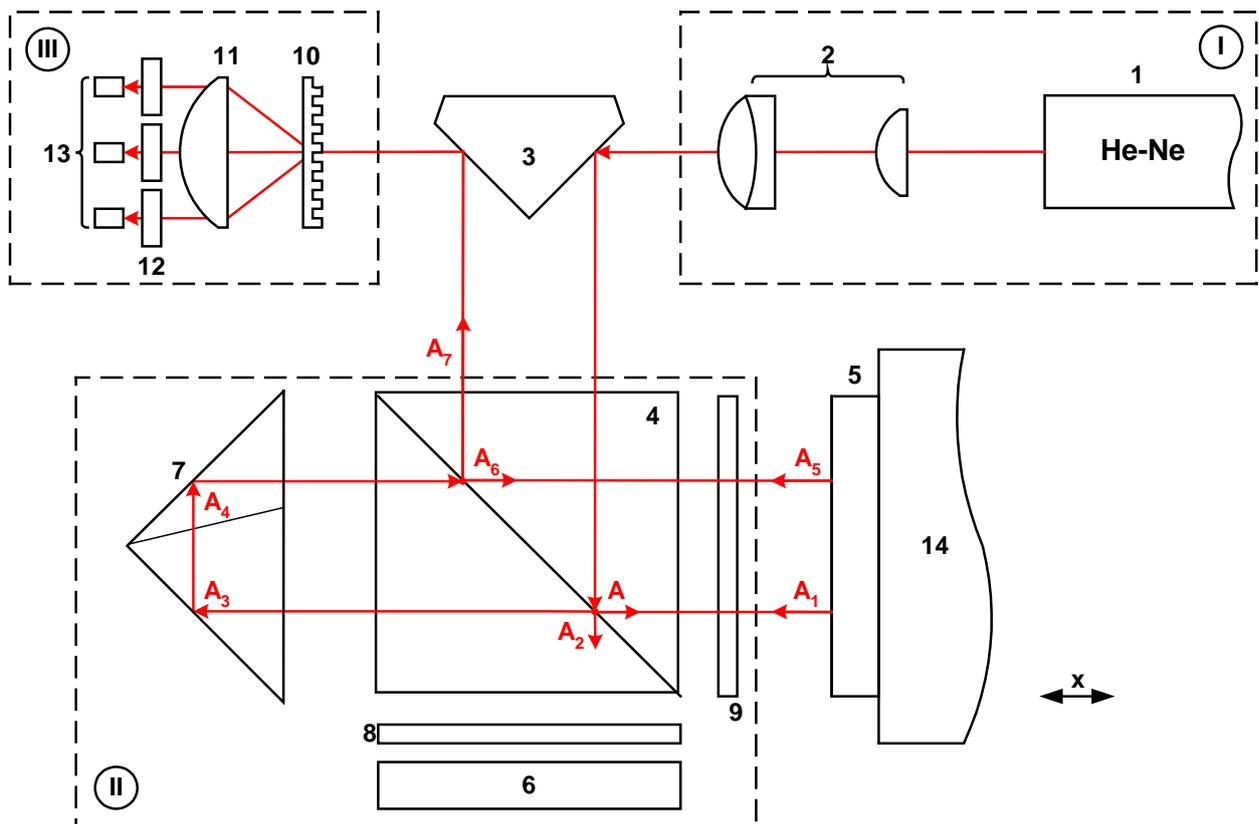


Рис. 7.5 Оптическая схема лазерного интерферометра

Коллимированное излучение после прохождения обратного телескопа 2 и отражения от поворотного зеркала 3 поступает в интерферометр II. Проследим ход измерительного пучка, поступающего в интерферометр по пути от источника излучения 1 до точки A на диагонали светоделительного кубика 4. Входящий пучок делится в A на две части, одна из которых идет по пути  $A_1$  к зеркалу 5, другая – по пути  $A_2$  к зеркалу 6. Зеркало 5 связано с подвижной кареткой 14, которая может перемещаться на  $\sim 110$  мм. Вторая часть пучка поступает в

опорное плечо и идет к референтному зеркалу 6, закрепленному неподвижно на основании корпуса интерферометра.

После отражения от зеркала 5 измерительный пучок проходит светоделительный кубик по пути  $A_1$  к  $A_3$  и, отражаясь от призмы 7, возвращается к зеркалу 5 по пути  $A_4$  к  $A_5$ . Второй раз отражаясь от зеркала 5, пучок идет в приемную часть в направлении  $A_5$ ,  $A_6$ ,  $A_7$ . После прохождения фазовой дифракционной решетки 10 пучок разделяется на три равные части и через линзу 11 поступает через поляроиды 12 на фотоприемники 13.

Референтный пучок после точки А проходит аналогичный путь, отражаясь от опорного зеркала 6, призмы 7 и кубика 4. Оба пучка интерферируют, образуя не локализованные полосы равной толщины. При движении каретки 14 вдоль оси Х полосы можно наблюдать на поверхности призмы 3 со стороны приемной части, или, удалив фотоприемники 13, на экране, установленном вместо них.

Помимо рассмотренных пучков в схеме образуются пучки, которые после деления в точке А и отражения от зеркала 5 второй раз не попадают на зеркало 5, а отражаются в точке  $A_6$ . Эти пучки несут информацию о наклонах зеркал 5 и 6. Они отделяются от пучков двойного прохождения стандартным поляризационным способом. Для этой цели в схеме установлен поляризационный кубик 4 и две полуволновых пластинки 8 и 9.

При перемещении каретки 14 величина отрезка перемещения определяется из соотношения:

$$L = k \cdot n \cdot \frac{\lambda}{4},$$

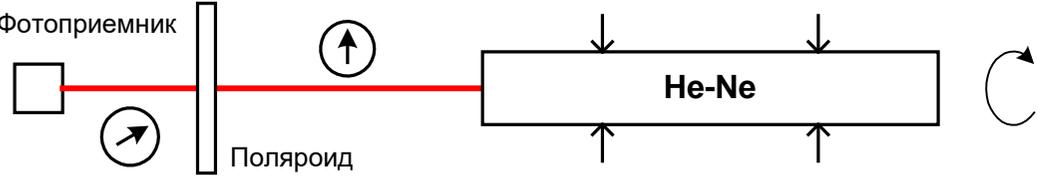
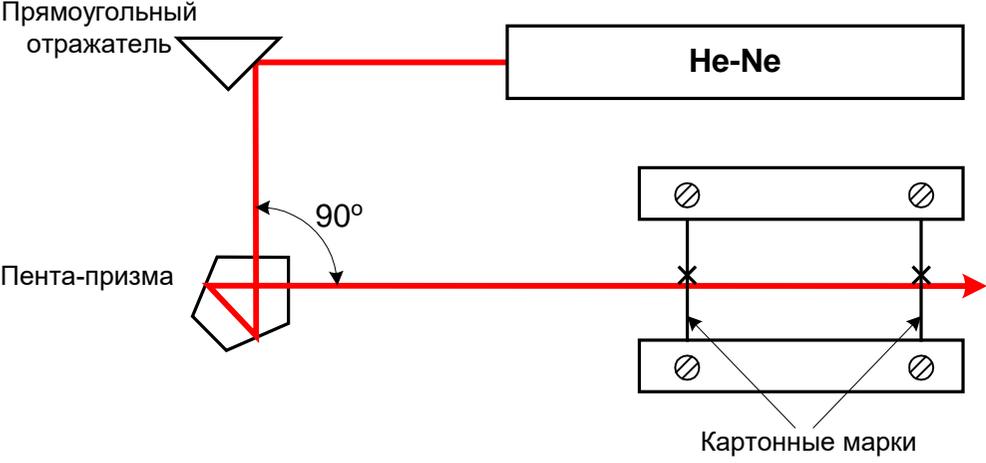
где  $\lambda$ -длина волны красной линии гелий-неонового лазера, равная для нормальных условий  $\lambda=0.63298$  мкм;  $n$  - показатель преломления воздуха в плече интерферометра;  $k$  - порядок интерференции или число полос, прошедших через окно одного из фотоприемников.

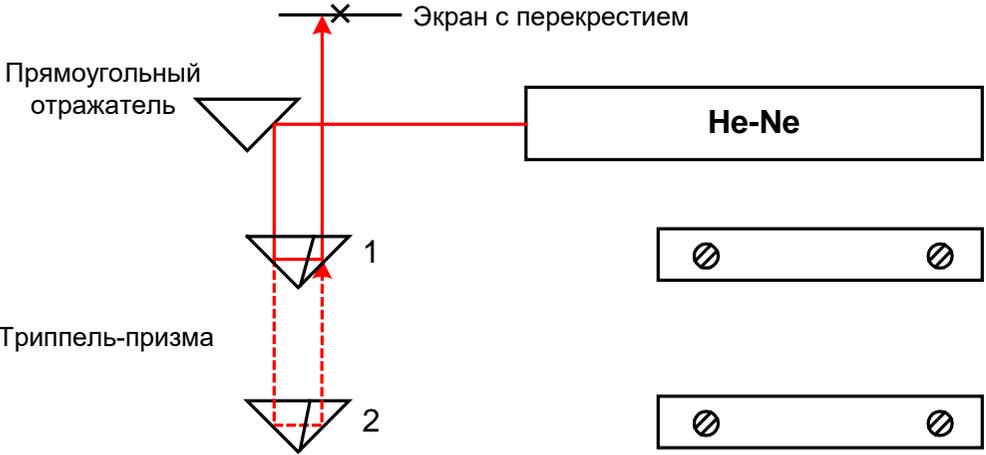
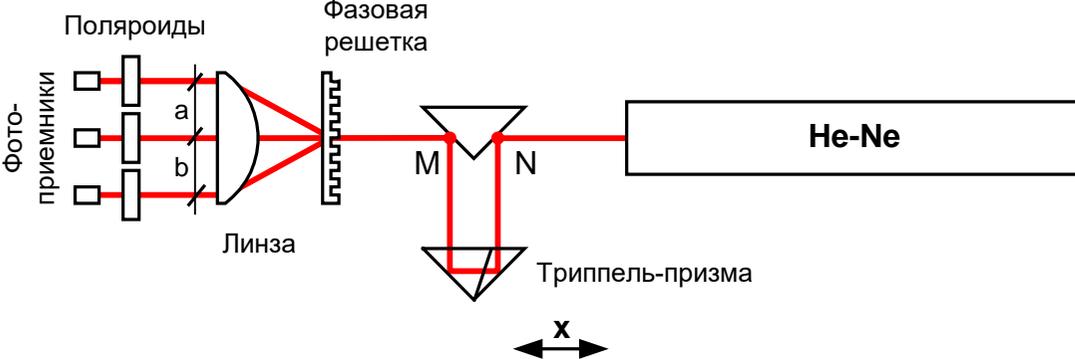
Порядок интерференции состоит из целой и дробной частей. Электронный блок после интерферометра позволяет отсчитывать значение, равное  $\frac{\lambda}{2048}$ .

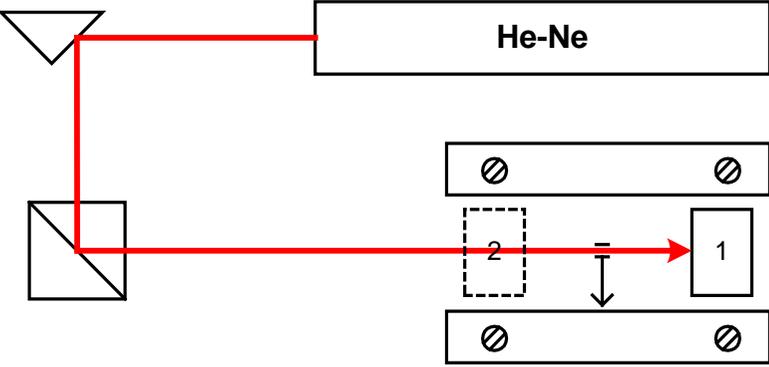
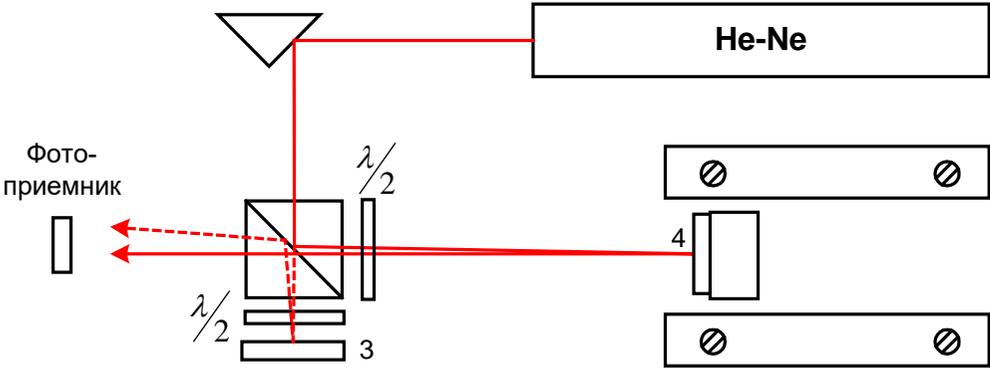
При изготовлении особо точных деталей, когда необходимы абсолютные значения измеряемой длины в измерения необходимо вносить поправку на отступление условий изготовления детали от нормальных ( $p=760$  мм рт. ст,  $t=20$  °С,  $e=10$  мм рт. ст). Здесь  $p$ ,  $t$  и  $e$ , давление, температура и влажность воздуха в формуле для расчета поправки:

$$dL \cdot 10^6 = [0.937(t - 20) - 0.361(p - 760) + 0.056(e - 10)] \cdot L.$$

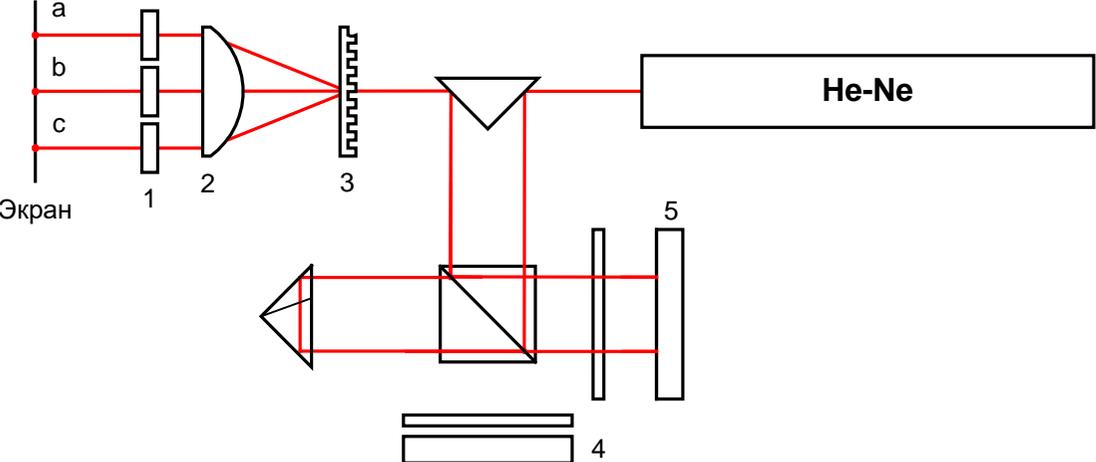
## 7.5.1 Настройка лазерной интерферометрической системы

п/п	Наименование операции	Схема юстировки	Вспомогательное оборудование	Точность юстировки
1.	Выставление плоскости поляризации He-Ne лазера	 <p><b>Рис. 7.6 Выставление плоскости поляризации He-Ne лазера</b> Поворотом лазера в подшипниках добиться максимума пропускания при положении полярOIDа с пропусканием под углом <math>45^\circ</math>.</p>	1. ПолярOID стандартный с меткой максимального пропускания 2. Фотоприемник + гальванометр	Точность выставления по углу $30'$
2.	Выставление поворотного зеркала и оси лазера параллельно направляющим	 <p><b>Рис. 7.7 Выставление поворотного зеркала и оси лазера параллельно направляющим</b> Поворотом отражателя и смещением пента-призмы добиться, чтобы луч шел параллельно направляющим</p>	1. Пента-призма 2. Марка из картона крестом	Точность выставления луча относительно креста на марке $\pm 0.5$ мм

п/п	Наименование операции	Схема юстировки	Вспомогательное оборудование	Точность юстировки
3.	Выставление пучка лазера параллельно гранитному основанию	 <p><b>Рис. 7.8 Выставление пучка лазера параллельно гранитному основанию</b>          При перемещении призмы из положения 1 в положение 2 добиться, чтобы обратный луч совпадал с маркой (крестом) на экране</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Триппель-призма в оправе</li> <li>Экран с крестом в центре</li> </ol>	Точность совпадения центрального пучка с крестом $\pm 0.5$ мм
4.	Выставление элементов приемной части интерферометра: фазовой решетки, линзы и поляридов на выходе	 <p><b>Рис. 7.9 Выставление элементов приемной части интерферометра: фазовой решетки, линзы и поляридов на выходе</b>          Перемещением триппель-призмы по оси X добиться, чтобы световые пятна от луча лазера в точках M и N находились симметрично прямоугольной призме и были на одной высоте. После фазовой решетки пучок разделяется на 3 части и, если он идет симметрично по центру</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Триппель-призма в оправе на подставке</li> </ol>	Точность выравнивания отрезков а и б $\pm 0.5$ мм

п/п	Наименование операции	Схема юстировки	Вспомогательное оборудование	Точность юстировки
		линзы, то расстояния а и b между пучками будут равны между собой.		
5.	<p>Выставление разделительного кубика интерферометра. Предварительная установка измерительного пучка по ходу движения подвижной каретки</p>	 <p><b>Рис. 7.10</b> Выставление разделительного кубика интерферометра. Предварительная установка измерительного пучка по ходу движения подвижной каретки</p> <p>Кубик в оправе, но без опорного (референтного) зеркала и трипель-призмы. Марка устанавливается на подвижную каретку. Поворотом кубика добиться параллельности измерительного пучка по ходу движения подвижной каретки в положениях 1 и 2.</p>	<p>1. Марка с крестом для крепления на подвижную каретку</p>	<p>Точность смещения пучка относительно креста на марке <math>\pm 0.5</math> мм</p>
6.	<p>Установка опорного и полуволновых пластинок. Выравнивание интерферирующих пучков по мощности</p>	 <p><b>Рис. 7.11</b> Установка опорного зеркала и полуволновых пластинок. Выравнивание интерферирующих пучков по мощности</p>	<p>1. Фотоприемник + гальванометр</p>	<p>Точность совпадения пучков по мощности <math>2 \div 3\%</math></p>

п/п	Наименование операции	Схема юстировки	Вспомогательное оборудование	Точность юстировки
		<p>Установить опорное зеркало 3, измерительное 4 и полуволновые пластинки. Поворотом полуволновых пластинок добиться максимальной мощности выходных пучков 1 и 2.</p> <p>Сравнить мощности пучков 1 и 2, и, если они отличаются более чем на 2÷3%, поворотом He-Ne лазера вокруг собственной оси добиться равенства мощности пучков.</p>		
7.	Установка трипель-призмы интерферометра	<div data-bbox="555 555 1467 917" data-label="Diagram"> </div> <p><b>Рис. 7.12 Установка трипель-призмы интерферометра</b></p> <p>Перекрыть экраном опорное зеркало 3. Установить трипель-призму и добиться двойного прохождения пучков по схеме рисунка. Аналогичную операцию повторить для опорного зеркала. Пучки двойного прохождения должны быть совмещены в выходной точке а.</p>	1. Экран	Точность совмещения контролируется по интерференционной картине на выходе интерферометра после поляризаторов. На экране, установленном вместо фотоприемников.

п/п	Наименование операции	Схема юстировки	Вспомогательное оборудование	Точность юстировки
8.	<p>Окончательная юстировка. Выставление по ходу и получение высокой контрастности интерференционной картины</p>	 <p><b>Рисунок 7.1 Окончательная юстировка. Выставление по ходу и получение высокой контрастности интерференционной картины</b></p> <p>Удалить из схемы блок фотоприемников и установить на расстоянии от полярироидов 1 экран, на котором видны 3 пятна (поле интерференции). Перемещением винтов опорного зеркала 4 и измерительного 5 добиться совмещения пятен опорного и измерительного пучков. При нажиме на подвижную каретку должна наблюдаться модуляция пучков. При перемещении зеркала 5 пятна пучков a, b и c не должны смещаться. Модуляция полос должна наблюдаться на всем протяжении движения каретки. Окончательная операция выставления по ходу и получения контрастной картины производится при наблюдении сигналов выходных фотоприемников.</p>	1. Экран	Визуально должны наблюдаться полосы максимальной ширины с высоким контрастом.

## **8 ГОЛОВКА ЗАПИСИ С УЗЛОМ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ**

Головка микроскопа записи входит в состав оптического канала записи системы CLWS-200 и предназначена для автоматической фокусировки выходного записывающего пучка в точку с диаметром порядка 0,6 мкм, а также для обеспечения визуализации и контроля записи при тестировании светочувствительного материала. Для управления головкой записи и контроля результатов записи существуют системы управления/контроля головки записи и визуализации записи. Оптическая блок-схема головки записи представлена на Рис.8.1.

В состав головки записи входят:

- Оптическая схема головки записи
- Головка (Датчик) автофокуса
- Исполнительный элемент (актюатор)

Система управления/контроля головки записи предназначена для обеспечения заданного (минимального) размера пятна записывающего пучка света на поверхности рабочей пластины во время записи. Основная задача системы состоит в поддержании постоянного расстояния между плоскостью пластины и объективом (эквивалентной линзой) и обеспечении заданного (нулевого) рассогласования на датчике расфокусировки.

В состав системы управления/контроля головки записи входят:

- Плата управления/контроля головки записи
- Затвор (перекрывает канал записи)
- Фотоприемник контроля мощности записывающего пучка
- Усилитель тока (актюатор)

Система контроля и визуализации записи предназначена для автоматического считывания результатов записи в режимах поиска центра вращения пластины и тестирования светочувствительного материала.

В состав системы визуализации записи входят:

- Фотоприемник контроля отраженного света
- CCD Камера
- Устройство подсветки

### **8.1 Колонна записи и автофокусировки**

#### **8.1.1 Назначение и состав**

Блок записи входит в состав оптического канала и предназначен для фокусировки мощного записывающего излучения на поверхность подложки элемента записи, осуществления автофокусировки и контроля оптических параметров при тестировании светочувствительного материала подложки.

Принципиальная оптическая схема устройства приведена на рис. 8.1.

Колонна записи состоит из следующих блоков:

- собственно колонна записи (I)
- блок автофокусировки (II)
- осветитель (III)
- канал видеокамеры (IV)
- блок фотоприемника (V)

В колонну записи (I) входят:

- поворотные зеркала (1,2,3)

- объектив фокусировки излучения записи (4)

Блок автофокусировки состоит из:

- полупроводникового лазера (5)
- призмы-ромба (6)
- объектива (7)
- светофильтров (8,9)
- фотоматрицы (10)

Блок осветителя (III) включает в себя

- лампу белого света (11)
- конденсор (12)

Канал видеокамеры состоит из:

- телескопа (13,14)
- поворотного зеркала (15)
- светофильтра (16)
- видеокамеры (17)
- вспомогательного монитора (19)
- дополнительного сменного окуляра телескопа (18)

Блок фотоприемника (V) включает

- светофильтр (20)
- фотоприемник (21)

### **8.1.2 Принцип действия.**

Излучение записи, пройдя через оптическую систему транспортировки излучения, состоящую из поворотных зеркал (см. Раздел 3), двух модуляторов и коллиматоров, падает на зеркало 1 (рис.1.1), отражается в объектив 4 и фокусируется последним в плоскость пластины со светочувствительным слоем 22, на которой записывается ДОЭ.

Плоскость записи (подложка) в процессе предварительной настройки освещается осветителем (III) и наблюдается на экране вспомогательного монитора 19 или через сменный окуляр телескопа 18.

В процессе записи мощность отраженного от плоскости записи пучка контролируется с помощью блока фотоприемника (V).

Блок автофокуса (II) обеспечивает автофокусировку пучка записи с помощью системы обратной связи.

Зеркало 1 отражает 96% излучения ( $\lambda = 488$  нм) в плоскость записи.

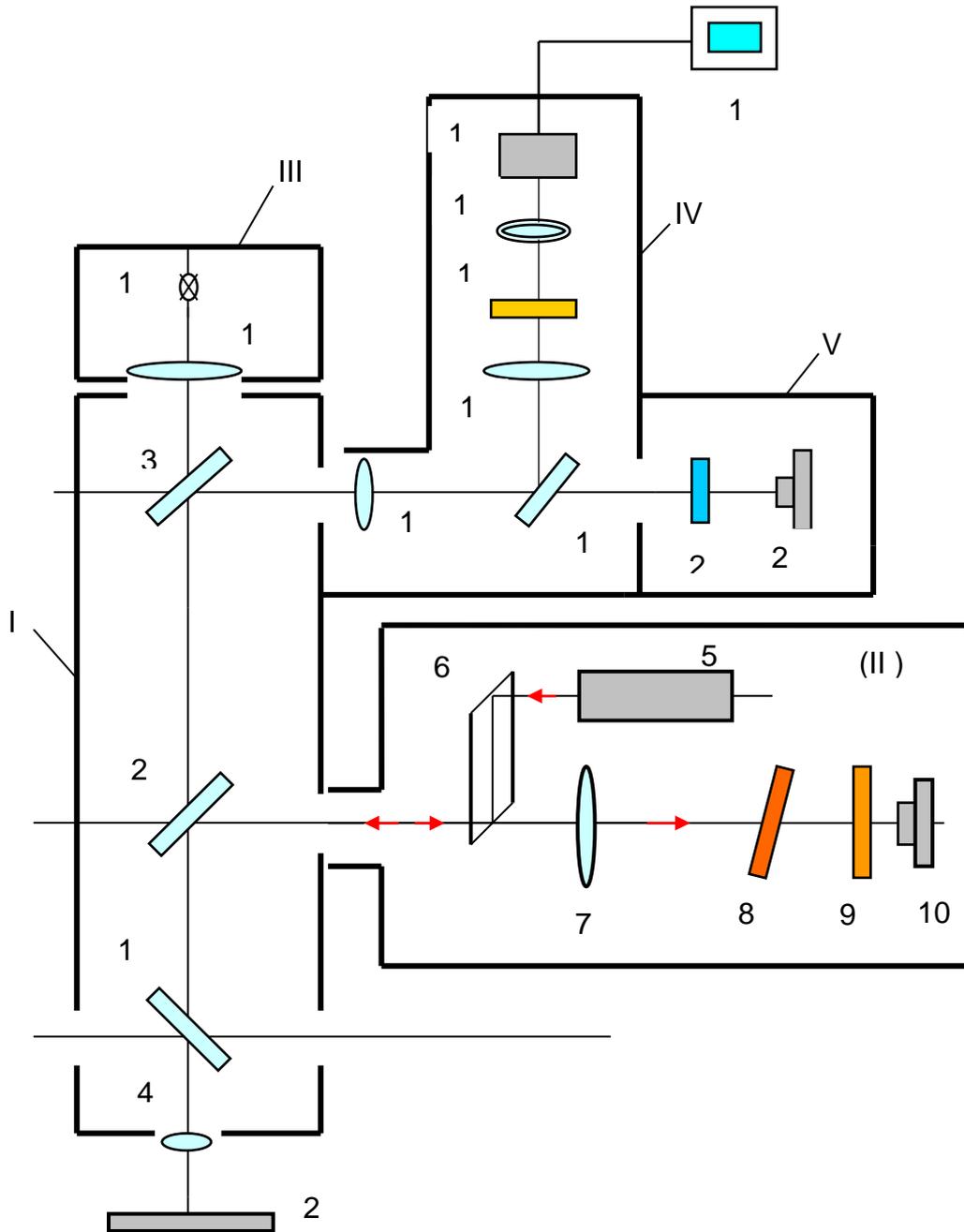


Рис.8.1. Колонна записи и автофокусировки

## 8.2 Юстировка колонны записи и головки автофокуса.

### 8.2.1 Выставление излучения лазера записи по оптическим осям колонны

Рис. 8.2. Колонна (I) без оптических элементов устанавливается на подвижную каретку лазерного построителя и крепится винтами. Луч лазера записи юстируется поворотными зеркалами (оптический канал записи) так, чтобы он проходил через центр входного отверстия О1 (для удобства в отверстие вставляется вспомогательная диафрагма из оргстекла диаметром 1мм) и О2 и выходил на заданной высоте  $h$  параллельно плоскости каретки. Фиксация высоты  $h$  осуществляется с помощью марки с перекрестием.

Для юстировки необходимы марка с перекрестием и диафрагма из оргстекла D1. Точность юстировки  $\pm 0,5$  мм.

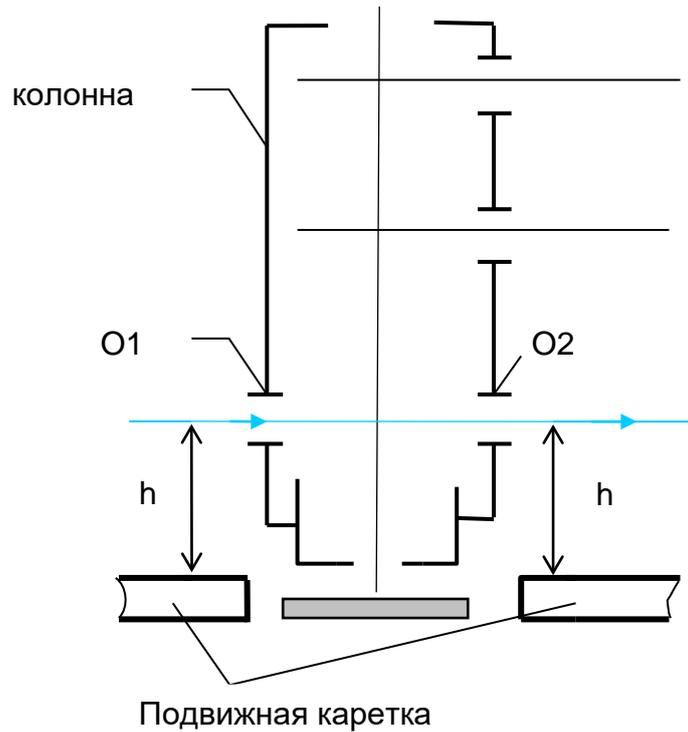


Рис. 8.2 Выставление излучения лазера записи по оптическим осям колонны

### 8.2.2 Юстировка зеркала 1

Рис. 8.3. Зеркало 1 вставляется в посадочное гнездо (через отверстие O1 в колонне). В отверстие O3 (гнездо объектива записи) вкручивается вспомогательная диафрагма D2 диаметром 1 мм.

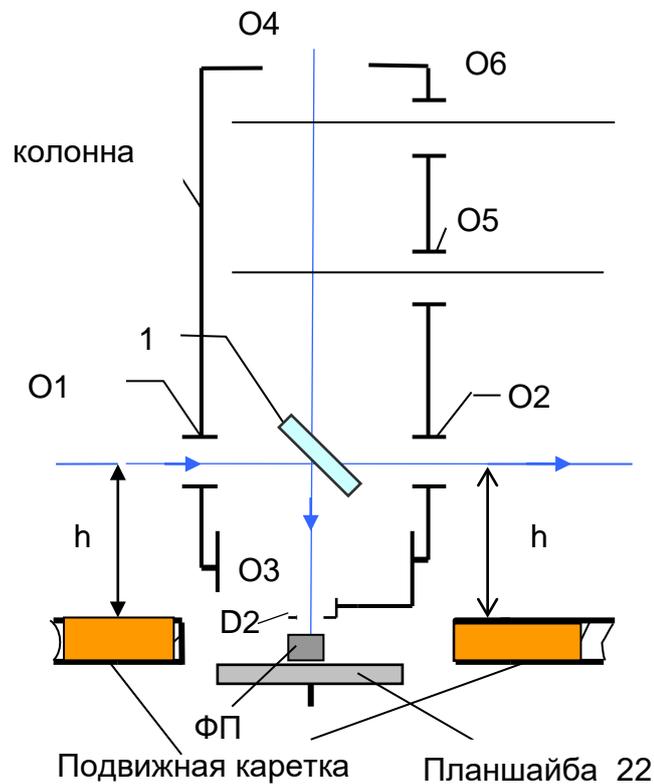


Рис.8.3 Юстировка зеркала 1

Поворотом и поперечным перемещением в посадочном гнезде зеркало 1 закрепляется так, чтобы отраженный от него луч выходил через вспомогательную диафрагму D2. Более точное выставление по центру диафрагмы D2 осуществляется с помощью вспомогательного фотоприемника ФП, помещенного в плоскость записи (на планшайбу 22) (рис.8.3)).

После настройки ФП убирается и в плоскость записи устанавливается вспомогательное зеркало (ВЗ). Регулируя наклон ВЗ, направить отраженный от него луч назад через диафрагму D2 и зеркало 1. Добиться, чтобы луч выходил по оси колонны (по центру верхнего отверстия О4) с поправкой на отсутствие зеркал 2 и 3.

Для юстировки необходимы диафрагма D2, фотоприемник ФП и вспомогательное зеркало ВЗ. Точность юстировки +/- 0,5мм.

### **8.2.3 Юстировка зеркал 2 и 3**

Рис. 8.3. Зеркало 2 устанавливается в посадочное гнездо (среднее отверстие О5 в правой части колонны). Поворотом и поперечным перемещением зеркала в посадочном гнезде закрепить зеркало 2 так, чтобы луч, отраженный от ВЗ и прошедший через зеркало 1, направлялся по центру выходного отверстия О5. Для удобства в отверстие О5 вставляется вспомогательная диафрагма D1. Для более точного выставления луча контроль проводить по линейке, установленной на конце подвижной каретки. Пучки, отраженные от зеркал 1 и 2, должны выходить параллельно по вертикали и горизонтали.

Для юстировки необходимы вспомогательная диафрагма D1 и измерительная линейка. Точность юстировки +/- 0,5 мм.

Зеркало 3 выставляется аналогично зеркалу 2.

После настройки поворотных зеркал 1,2,3 диафрагма D2 вывинчивается, а вспомогательное зеркало ВЗ остается в строго установленном положении.

### **8.2.4 Юстировка осветителя (III)**

Осветитель выполнен в виде отдельного блока (рис.8.1) и его юстировка производится без колонны записи на отдельном рабочем месте. Лампа белого света (галогенная лампа) 11 устанавливается на оптической оси конденсора 12. Перемещением конденсора в резьбе оправы добиваются проектирования изображения нити накаливания лампы на расстоянии 240 мм от нити накаливания лампы. В колонне на этом расстоянии расположен входной зрачок объектива записи. Изображение нити наблюдается на вспомогательном экране. После настройки блок осветителя устанавливается сверху колонны (рис.8.1).

### **8.2.5 Юстировка канала видеокамеры (IV)**

Канал видеокамеры выполнен в виде отдельной трубки с изломом оптической оси под углом 90 градусов. Вставить трубку в отверстие О6 колонны (рис.1.3.2) и зажать цангой.

На первом этапе настройки для удобства видеокамера 17 заменяется вспомогательным окуляром 18 с небольшим увеличением (4–7\*\*), который крепится через прилагаемый переходник.

Включить осветитель. Далее наблюдать в окуляр луч записи, отраженный

---

\* Примечание. На рис.8.1 дается вид сбоку оптической схемы блока автофокуса, в этом случае можно видеть только один канал регистрации пучка.

от вспомогательного зеркала ВЗ. Если пучок записи не наблюдается в окуляр, необходимо повернуть делительное зеркало 15 (рис.1.1). Для этого открепить винт, находящийся на горизонтальной части трубки видеоканала и, поворачивая делительное зеркало 15 с помощью этого винта, направить пучок лазера записи по центру поля зрения.

Окуляр 14 телескопа установить в нижнее положение, опуская его с помощью винта, находящегося на вертикальной части трубки видеоканала (IV).

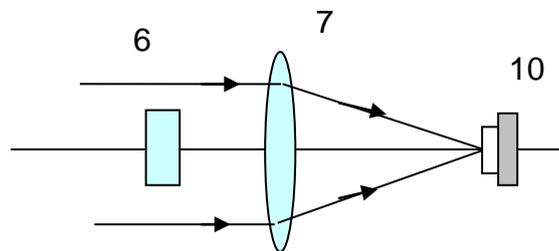
Картина с видеокамеры 17 наблюдается на экране вспомогательного монитора 19.

### **8.2.6 Юстировка блока фотоприемника (V)**

Проведенная юстировка колонны записи (I) обеспечивает предварительную настройку блока фотоприемника (рис.8.1). Для более точной юстировки необходимо, регистрируя сигнал с фотоприемника 21, настроить его на максимум, перемещая на винтах блок фотоприемника. Светофильтр 20 устанавливается для выделения области спектра 440 – 514 нм.

### **8.2.7 Юстировка блока автофокусировки (II)**

Оптическая схема блока автофокуса (на рис 8.1 представлен вид сбоку) конструктивно выполнена для двухканального лазерного пучка (рис.8.4(a)), но в данной установке используется схема с одним каналом регистрации пучка (рис.8.4(b)).\*\* Поэтому в блоке автофокуса установлены призма-ромб 6 (рис.8.1 и рис.8.4(b)), объектив автофокуса 7, отклоняющий светофильтр 8 (в одном канале) и полупроводниковый лазер 5 с длиной волны излучения  $\lambda=0,65\text{мкм}$ .



**Рис. 8.4(а). Вид сверху**

Перед настройкой блока автофокуса убрать лазер 5 и вставить блок (II) в отверстие О5 колонны записи (рис.1.3.2), зажав цангу.

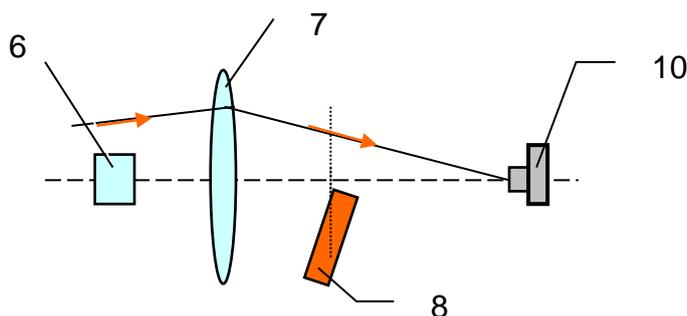
Включить мощный лазер для записи элементов, ничего не меняя в его настройке (в том числе и положение зеркала ВЗ). Проверить, как луч записи, отражаясь от зеркала 1 на вспомогательное зеркало ВЗ, затем от ВЗ и зеркала 2, выходит через призму-ромб 6 (рис 1.1). В случае необходимости отъюстировать призму-ромб так, чтобы луч направлялся по центру держателя лазера 5, проверяя положение луча на матовом экране.

Предварительно подготовленный к работе лазер 5 автофокуса (режим параллельного пучка излучения) устанавливается в держатель лазера (рис.1.1) и закрепляется на установочной площадке винтами под небольшим углом к оптической оси блока автофокуса. Луч направляется на призму-ромб 6. Юстируя

\*\* Примечание. На рис.8.1 дается вид сбоку оптической схемы блока автофокуса, в этом случае можно видеть только один канал регистрации пучка.

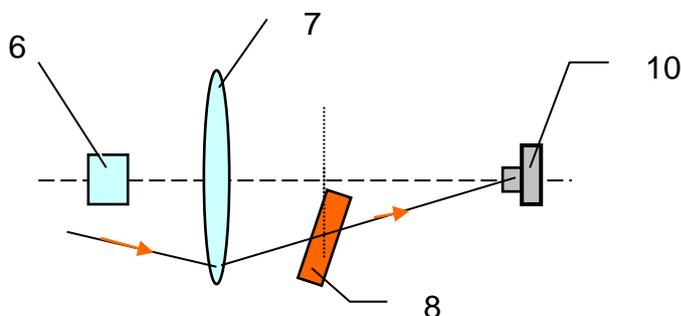
положение лазера по вертикали и горизонтали, добиться, чтобы луч автофокусировки ( $\lambda=0,65\text{мкм}$ ), выходящий из призмы-ромба, падал на вспомогательное зеркало ВЗ рядом с лучом записи ( $\lambda =0,488\text{мкм}$ ). Наблюдать оба луча в сменный окуляр 18 телескопа. Луч записи должен наблюдаться в центре поля зрения (так его положение было настроено в п. 8.2.5), а луч автофокусировки находиться в пределах поля зрения.

Одновременно отраженный от вспомогательного зеркала ВЗ луч автофокусировки ( $\lambda =0,65\text{мкм}$ ), возвращающийся в блок автофокуса, должен выходить из объектива 7 по пути, где нет отклоняющего светофильтра 8 (рис. 8.4(b)). Наблюдать выходящий луч на вспомогательном матовом экране, помещенном вместо фотоматрицы 10. Луч должен выходить приблизительно по центру оправы для фотоматрицы. Точность юстировки  $\pm 0,5\text{мм}$ .



**Рис.8.4(b)**

Закончив предварительную настройку, вставить объектив записи 4 в посадочное гнездо (рис. 8.1). При этом луч лазера, выходящий из блока автофокуса, возвратится по пути, показанному на рис. 8.4(c), пройдя через смещающий светофильтр 8.



**Рис.8.4(c)**

Окончательная юстировка заключается в более точном выставлении луча записи (а) по оптической оси колонны и (б) по направлению перемещения подвижной каретки.

(а) Выставление луча записи по оптической оси колонны контролируется наблюдением в окуляр 18. Юстируя положение луча записи поворотным зеркалом оптического канала записи (ОКЗ), добиться, чтобы при расфокусировке пучка его положение в поле зрения не изменялось. Расфокусировка пучка осуществляется от руки микровинтом, расположенном на подвижной каретке.

(б) Аналогично юстировать пучок записи по направлению оси перемещения подвижной каретки. Для этого поместить перед колонной вспомогательный экран с диафрагмой для прохождения пучка записи и, перемещая подвижную каретку от руки (предварительно подав воздух), добиться, чтобы луч, прошедший через объектив записи 4 и отраженный от ВЗ и зеркала 1 назад на вспомогательный

экран, не смещался при перемещении каретки.

### 8.3 Датчик автофокуса

Датчик автофокуса предназначен для определения дефокусировки. Датчик автофокуса состоит из следующих элементов:

- Полупроводниковый лазер с длиной волны  $\lambda=0.655$  мкм;
- Призма-ромб
- Объектив  $f = 37$  мм и  $d = 12$  мм
- Светофильтр типа КС-11
- Фотоприемник (4-секторная фотоматрица)

### 8.4 Плата управления/контроля головки записи

Плата управления обеспечивает функционирование системы автофокусировки. Плата управления/контроля головки записи построена на базе цифрового сигнального процессора TMS320F2812 и функционирует на базе Ethernet. Математическая модель системы управления построена на регуляторе.

Блок-схема платы управления системой АФ изображена на Рис. 8.5

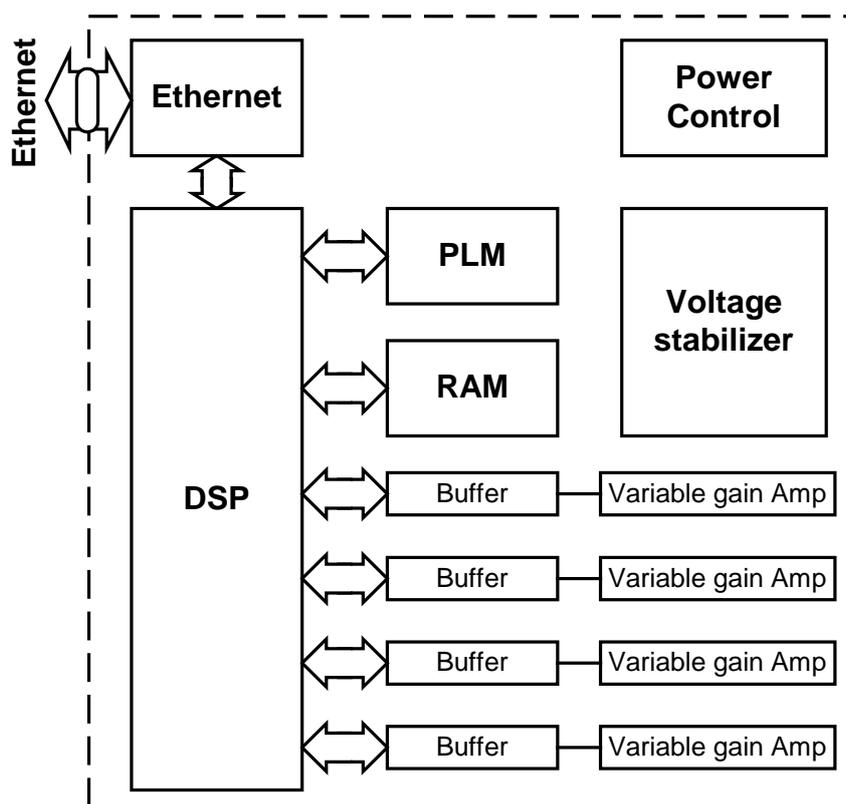


Рис. 8.5 Блок-схема платы управления/контроля головки записи

Входными данными для устройства являются сигналы рассогласования с фотоматрицы (поз. 21 рис.8.1). Они поступают через входные буферные каскады и далее передаются в сигнальный процессор DSP. Сигнальный процессор производит их математическую и алгоритмическую обработку, и на основании этой информации ведет расчет управляющего воздействия. Затем рассчитанное воздействие передается в цифро-аналоговый преобразователь, и с выхода подается на исполнительный элемент (актюатор).

Функциональные элементы платы управления/контроля головки записи:

- Сигнальный процессор DSP (TMS)
- Контроллер Ethernet
- Программируемая логическая матрица LPM
- Память RAM
- Входные буферные каскады
- Твердотельные реле
- Разъемы подключения внешних устройств

Функциональная схема платы управления/контроля головки записи изображена на Рис. 8.

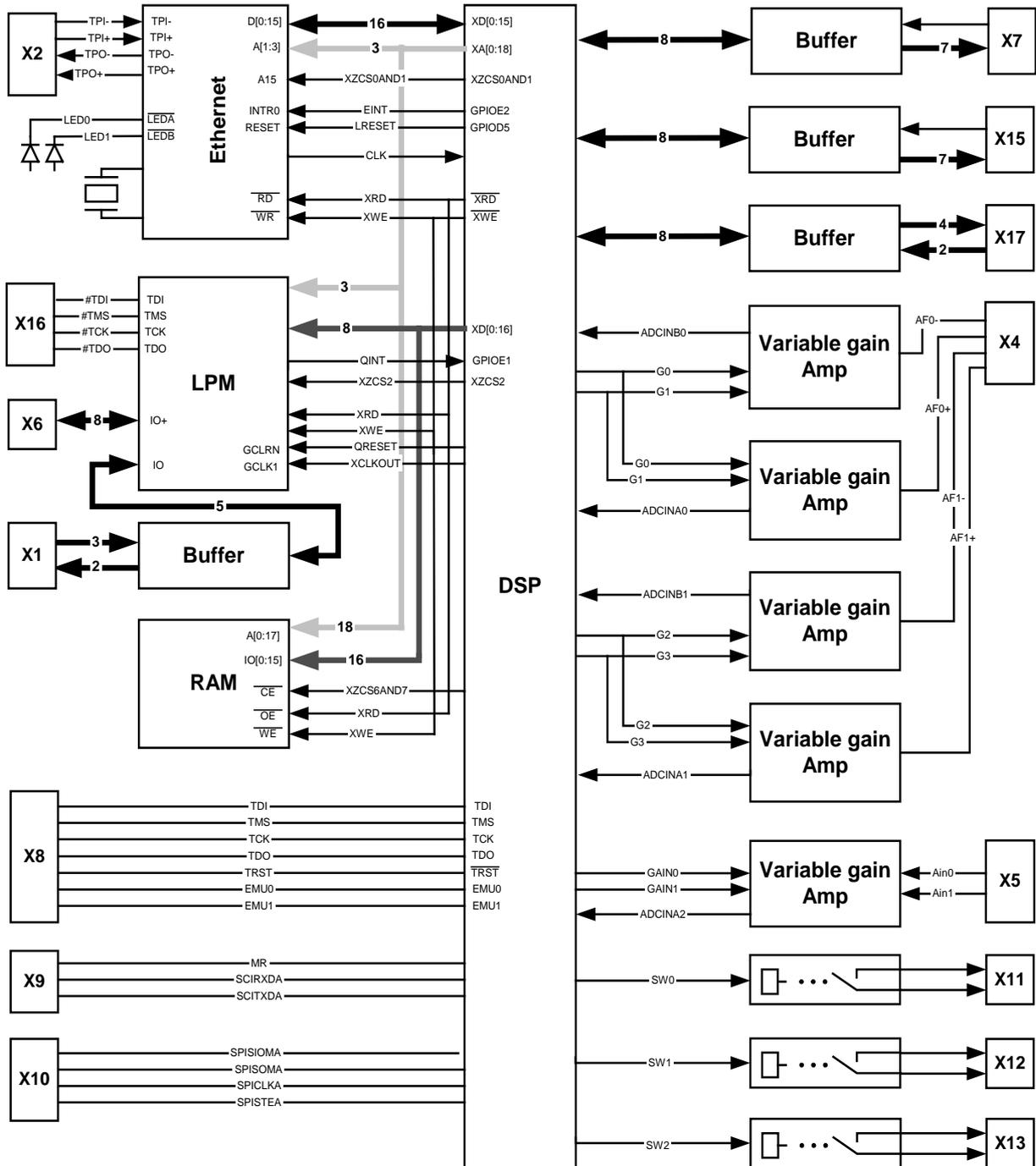


Рис. 8.6 Функциональная схема платы управления/контроля головки записи

Внешний вид платы управления/контроля головки записи с отображением местоположения разъемов представлен на Рис. 8..

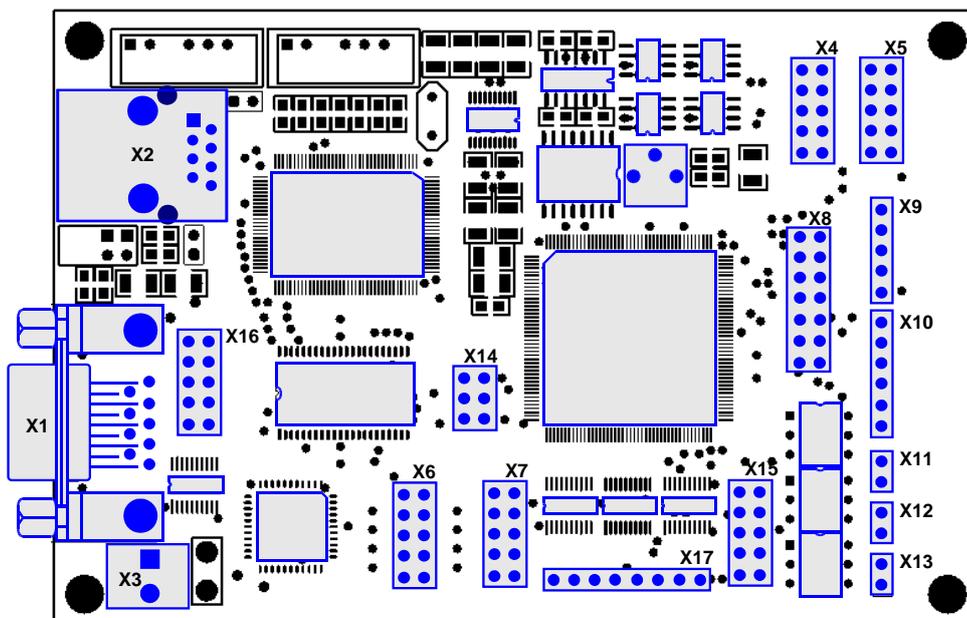


Рис. 8.7 Разъемы платы управления/контроля головки записи

**Разъем синхронизации**

Обозначение на схеме: X1  
Тип: DB9

Контакт	Сигнал	Описание
1	SO0	Выход
2	SO1	Выход
3	SI2	Вход
4	SI0	Вход
5	SI1	Вход
6-9	GND	Земля

**Разъем Ethernet**

Обозначение на схеме: X2  
Тип: RJ45

Контакт	Сигнал	Описание
1	TX-	
2	TX+	
3	+3.3 V	
4		
5		
6	GND	
7	RX+	
8	RX-	

**Разъем питания**

Обозначение на схеме: X3

Контакт	Сигнал	Описание
1	PWR	+5 В
2	GND	Земля

**Разъем подключения датчика автофокуса**

Обозначение на схеме: X4  
Тип: JTAG

Контакт	Сигнал	Описание
1	AF0-	Аналоговый вход
2	AF0+	Аналоговый вход
3	AF1-	Аналоговый вход
4	AF1+	Аналоговый вход
5	GNA	Земля
6	GNA	Земля
7	+9 В	Напряжение питания
8	-9 В	Напряжение питания
9	+3.3 L	Напряжение питания
10	GND	Земля

**Разъем подключения аналогового фотоприемника**

Обозначение на схеме: X5  
Тип: JTAG

Контакт	Сигнал	Описание
1	Ain0	Аналоговый вход
2	Ain1	Аналоговый вход
3		
4		
5	GNA	Земля
6	GNA	Земля
7	+15 В	Напряжение питания
8	-15 В	Напряжение питания
9	+ 5 В	Напряжение питания
10	GND	Земля

**Разъем подключения цифрового фотоприемника**

контроля отраженного света Обозначение на схеме: X6  
Тип: ADC

Контакт	Сигнал	Описание
1	+5 В	Напряжение питания
2	GND	Земля
3	+IO0	Вход\Выход
4	+IO4	Вход\Выход
5	+IO1	Вход\Выход
6	+IO5	Вход\Выход
7	+IO2	Вход\Выход
8	+IO6	Вход\Выход
9	+IO3	Вход\Выход
10	+IO7	Вход\Выход

**Разъем подключения цифрового фотоприемника**

Обозначение на схеме: X7  
Тип: PWM

Контакт	Сигнал	Описание
1	+5 В	Напряжение питания
2	GND	Земля
3	ENA1	
4	ERR1	
5	PM7	
6	PM8	
7	PM9	
8	PM10	
9	PM11	
10	PM12	

**JTAG**

Обозначение на схеме: X8  
Тип: JTAG

Контакт	Сигнал	Описание
1	TMS	
2	TRST	
3	TDI	
4	GND	Земля
5	+3.3 В	Напряжение питания
6		
7	TDO	
8	EMUOFF	
9	TCK	
10	GND	
11	TCK	
12	GND	
13	EMU0	
14	EMU1	

**UART**

Обозначение на схеме:  
X9  
Тип: TX

Контакт	Сигнал	Описание
1	+5 В	Напряжение питания
2	GND	Земля
3	MR	
4	SCIRXDA	
5	SCITXDA	

**Разъем подключения  
усилителя  
исполнительного  
элемента**

Обозначение на схеме:  
X10  
Тип: SW

Контакт	Сигнал	Описание
1	+5 В	Напряжение питания
2	GND	Земля
3	MCLKXA	
4	MDXA	
5	MFSXA	
6	MENA	

**Разъем подключения  
питания**

Обозначение на схеме:  
X11

Тип: SwOut

Контакт	Сигнал	Описание
1	+U	Плюс источника питания
2	-U	Минус источника питания

**Разъем подключения  
питания камеры CCD**

Обозначение на схеме:  
X12

Тип: SwOut

Контакт	Сигнал	Описание
1	+U	Плюс источника питания
2	-U	Минус источника питания

**Разъем подключения  
питания затвора**

Обозначение на схеме:  
X13

Тип: SwOut

Контакт	Сигнал	Описание
1	+U	Плюс источника питания
2	-U	Минус источника питания

**Дополнительный  
последовательный  
выход SPI (в данной  
версии не  
используется)**

Обозначение на схеме:  
X14

Тип: SPI

Контакт	Сигнал	Описание
1	SPISIMOА	
2	SPISOMA	
3	SPICLKA	
4	SPISTEA	
5	GND	Земля
6	+3.3 Veth	Напряжение питания

**Разъем подключения  
Motor**

Обозначение на схеме:  
X15

Тип: PWM

Контакт	Сигнал	Описание
1	+5 В	Напряжение питания
2	GND	Земля
3	ENA	
4	ERR	
5	PM1	
6	PM2	
7	PM3	
8	PM4	
9	PM5	
10	PM6	

Обозначение на схеме:  
X16  
Тип: JTAG

Контакт	Сигнал	Описание
1	#TCK	
2	GND	Земля
3	#TDO	
4	+3.3 Veth	Напряжение питания
5	#TMS	
6		
7		
8		
9	#TDI	
10	GND	

Разъем подключения  
Мотора  
Обозначение на схеме:  
X17  
Тип: JTAG

Контакт	Сигнал	Описание
1	+5	Напряжение питания
2	GND	Земля
3	QA0	
4	QA1	
5	IA0	
6	IA1	
7	QA2	
8	QA3	

## 9 МАРКИРОВКА КАБЕЛЕЙ

Блок	Разъем	Описание
Блок 1		Силовой блок
	11	POWER
	12	POWER
	13	POWER
	14	POWER
	15	ВЧД1
	16	ВЧД 1
	17	ВЧД 2
	18	ВЧД 2
	19	AMP1
	110	AMP1
	111	AMP2
	112	AMP2
Блок 2		VFG3
	21	VFG3_SYNC
	22	VFG3_PD
	23	VFG3_ST
	24	VFG3_M
	25	VFG3_Aux_PD
Блок 3		SP
	31	SP_POWER
	32	SP_RS232
	33	SP_SYNC
	34	SP_Motor
	35	SP_Control
Блок 4		LINEAR

	41	LINEAR_IN	Вход линейной координаты
	42	LINEAR_OUT	Выход линейной координаты
Блок 5		AF	Автофокус
	51	AF_POWER	Питание
	52	AF_SYNC	Синхронизация
	53	AF_ETHERNET	
Блок 6		PC	Компьютер
	61	PC_COM	COM-порт
	62	PC_ETHERNET	ETHERNET
Основание			
01	01	IPD	Фотоприемник интерферометра
02	02	PD	Фотоприемник обратной связи
03	03	PD	Фотоприемник калибровки
04	04	AOM1	Акустооптический модулятор
05	05	AOM2	Акустооптический модулятор
03	06	LMOTOR	Линейный двигатель
07	07	PD	Фотоприемник
09	09	Колонна	Колонна автофокуса

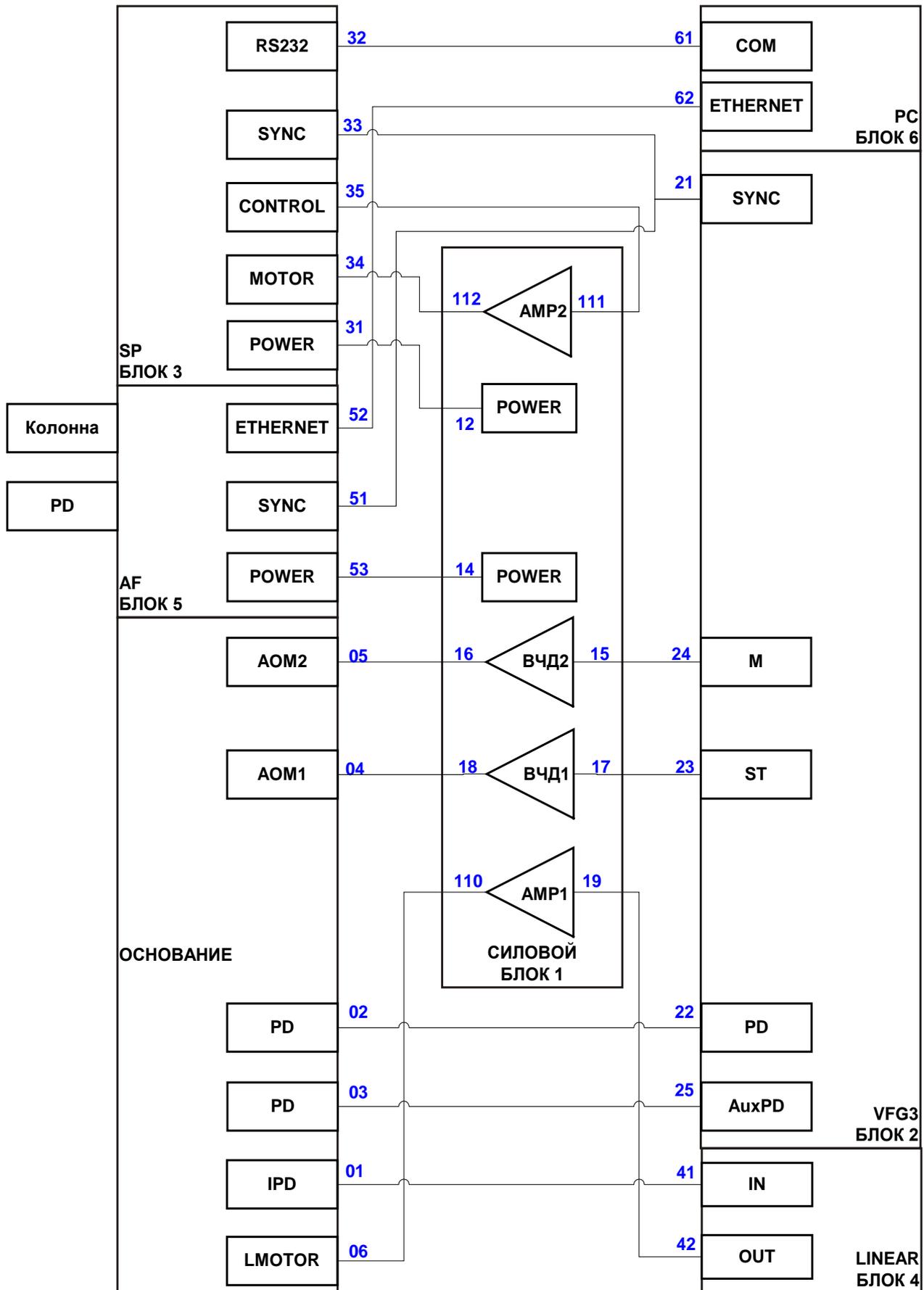


Рис. 9.1 Маркировка кабелей

## **10 ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ**

### **10.1 Введение**

Плёнки хрома являются оптимальным материалом для изготовления амплитудных голограмм и фотошаблонов. Это обусловлено прочностью, высокой поглощаемостью света и хорошей адгезией напылённых плёнок хрома со стеклянными подложками. Технологии нанесения плёнок хрома и условия травления в различных травителях были разработаны в течение многих лет в микроэлектронной промышленности.

В стандартной технологии изготовления фотошаблонов хромовая плёнка покрыта дополнительным слоем фоторезиста, который используется как фоточувствительный материал. Применяемая в системе CLWS-200 технология термохимической записи существенно упрощает изготовление бинарных фотошаблонов.

Облучение плёнки хрома сфокусированным лазерным пучком вызывает нарастание плёнки оксида хрома, которая устойчива ко многим травителям хрома. Таким образом, реализуется негативный метод генерации изображений в плёнках хрома.

При сканирующей лазерной записи с использованием термохимического метода пучок аргонового лазера фокусируется в пятно диаметром 0.6 мкм, скорость записывающего пятна варьируется в зависимости от диаметра заготовки от 0 до 2.5 м/сек, толщина плёнок хрома может меняться от 100 до 200 нанометров. Оптимальная мощность записи находится в пределах 15 - 30 милливольт. Эффект формирования негативного изображения имеет место для нанесённых любым методом плёнок хрома. Однако наилучшие результаты по пространственному разрешению и области термохимических изменений достигаются для плёнок хрома, нанесённых в атмосфере аргона.

Предельное разрешение определяется скоростью сканирования. Для высоких скоростей сканирования, разрешение достигает 1200 линий на миллиметр и определяется размером записывающего пятна. Когда скорость сканирования становится менее, чем 0.4 м/сек, разрешение начинает уменьшаться, что объясняется тепловым механизмом записи.

Основным недостатком термохимической записи по сравнению с записью в фоторезисте, является более низкая чувствительность (примерно в 10 раз) к свету и сильная зависимость ширины записанной линии от мощности записывающего пучка и скорости сканирования. Однако, эти проблемы возможно разрешить методами компьютерного контроля мощности записывающего пучка от радиуса записи (то есть скорости сканирования) в соответствии с предварительными экспериментальными данными.

### **10.2 Тестирование плёнок хрома**

Плёнки хрома, изготовленные путём теплового напыления толщиной 50 и 80 нм, были протестированы с использованием светового пятна диаметром 0.8 мкм по уровню e-1. Скорость записывающего пятна менялась от 4.4 до 88 см/сек. Затем они травилась в рабочем растворе, состоявшем из 6 частей 25% раствора  $K_3Fe(CN)_6$  и 1 части 25% раствора NaOH. Время травления составляло 2 минуты для подложек с плёнкой хрома толщиной 50 нм и 2.5 минуты для подложек с 80 нм хрома. Оптимальная мощность записывающего пучка для термохимической записи была в пределах от 10 до 23 милливольт для данного диапазона скоростей сканирования.

## 10.3 Травление плёнок хрома

### 10.3.1 Раствор травителя

Рабочий травитель состоит из 6 частей 25% раствора  $K_3Fe(CN)_6$  и 1 части 25% раствора NaOH. Не рекомендуется повышать концентрацию, поскольку 30% раствор  $K_3Fe(CN)_6$  при температуре 20°C становится насыщенным.

Наилучшим путём проконтролировать концентрацию N этих растворов является измерение их плотности, особенно для NaOH, поскольку он поглощает воду из воздуха. Для этой цели здесь представлена таблица для температуры 20°C, где N - концентрация (вес материала, делённый на вес раствора), T – титр (содержание материала в граммах на один миллилитр раствора),  $\rho$  - плотность раствора.

Раствор  $K_3Fe(CN)_6$ 

N	T	$\rho$
0.02	0.0202	1.009
0.04	0.0408	1.0201
0.06	0.0619	1.0314
0.08	0.0834	1.0427
0.1	0.1054	1.0542
0.12	0.1278	1.0656
0.14	0.1510	1.0789
0.16	0.1745	1.089
0.18	0.1985	1.101
0.2	0.2230	1.113
0.23	0.2596	1.1288
0.25	0.2851	1.141

Раствора NaOH

N	T	$\rho$
0.0465	0.0489	1.05
0.0919	0.1011	1.10
0.1373	0.1579	1.15
0.1509	0.1758	1.165
0.1825	0.2190	1.20
0.2007	0.2449	1.22
0.2282	0.2852	1.25
0.2510	0.320	1.275
0.2741	0.3562	1.3
0.302	0.4016	1.33
0.3501	0.4832	1.38
0.4	0.572	1.43

Зависимость  $\rho(N)$  можно аппроксимировать с точностью около 0.001 следующей формулой:

$$\rho = 1 + \alpha N,$$

где  $\alpha=0.56$  для  $K_3Fe(CN)_6$  и  $\alpha =1.094$  для NaOH. Также возможно просто получить следующие полезные формулы:

$$N = \frac{(\rho - 1)}{\alpha},$$

$$T = \rho N = N(1 + \alpha N) = \frac{\rho(\rho - 1)}{\alpha},$$

$$\rho = 0.5 + \sqrt{0.25 + \alpha T}.$$

После смешивания двух растворов значения меняются, и соотношение не сохраняется. Поэтому плотность рабочего раствора  $\rho_e$  можно выразить как:

$$\rho_e = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{V_1 + V_2},$$

где  $\rho_1$  и  $V_1$  - плотность и объём  $K_3Fe(CN)_6$ ,  $\rho_2$  и  $V_2$  - для раствора Na OH.

Вес  $K_3Fe(CN)_6$  в одном миллилитре раствора:

$$T_{1e} = \frac{T_1 V_1}{V_1 + V_2},$$

а вес NaOH в одном миллилитре:

$$T_{2e} = \frac{T_2 V_2}{V_1 + V_2},$$

где  $T_{1e}$  и  $T_{2e}$  означают титры исходных растворов.

Определим следующие параметры:

$$M = V_2 (V_1 + V_2),$$

где  $M$  объёмная фракция NaOH в травителе,

$$L = \frac{T_{2e}}{T_{1e} + T_{2e}} = \frac{T_2 V_2}{T_1 V_1 + T_2 V_2},$$

где  $L$  вес фракции NaOH в смешанных материалах.

Было измерено значение pH в зависимости от  $M$  для смеси 25% растворов. В рабочей области  $M=0.1-0.3$  изменение pH составляет 0.05. Это очень маленькое изменение для гарантированного контрольного измерения травителя.

### 10.3.2 Время травления

Термально напылённые плёнки хрома с толщиной 100 нм были проэкспонированы сфокусированным лазерным пучком диаметром 0.8 мкм по уровню  $e^{-1}$  с шагом 0.7 мкм и линейной скоростью от 1 до 1.8 м/сек. Мощность была выбрана на уровне 0.8 от границы испарения хрома. После этого подложки были разделены на экспонированную и неэкспонированную части. Для измерения скорости травления был измерен коэффициент пропускания в течение процесса травления. Кривые пропускания экспонированной и неэкспонированной плёнок отличаются. Таким образом, термохимические изменения происходят по всей толщине плёнки.

Скорость травления понижается, когда коэффициент пропускания достигает 1. Время, при котором пропускание достигает 0.5, означает, что толщина плёнки стала около 8 нм. Разделив стравленную толщину на это время, можно получить среднюю скорость травления.

Коэффициент селективности  $K$  определяется как отношение скоростей травления экспонированной и неэкспонированной плёнок. Оптимальное значение  $M = 0.14$ . Время травления в данном травителе составляет около 2 минут, когда плёнка хрома имеет толщину 50 - 80 нм. Это очень короткое время для травления очень больших и тяжёлых подложек, покрытых плёнками хрома. Чтобы увеличить время травления, была понижена концентрация раствора  $N_e$  путём разбавления 1 мл раствора  $W$  мл воды. В данном случае мы имеем:

$$N_e = \frac{0.29}{1.16 + W} \text{ и } T_e = \frac{0.29}{1 + W} \text{ гр./мл.}$$

В таблице приведены полученные при экспериментах травления данные:

$W$	0	0.5	1	2	4	6
$N_e$	0.25	0.175	0.134	0.092	0.056	0.041
$T_e$ [гр/мл]	0.29	0.193	0.145	0.097	0.058	0.0414
$V$ [нм/сек]	0.80	0.44	0.33	0.175	0.1	0.06
$K$	4.86	4.84	4.5	4.2	5.3	4.7

Кривые  $V(N_e)$  и  $K(N_e)$  показаны на Рис. 10.1. Скорость травления очень сильно зависит от степени разбавления, причём коэффициент селективности практически остаётся одинаковым.

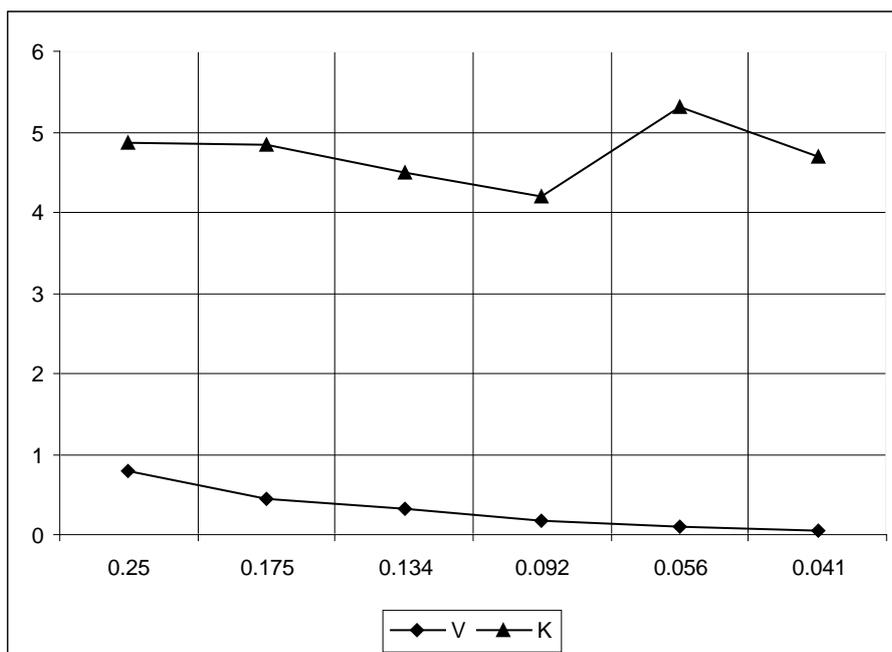


Рис. 10.1 Зависимость скорости травления и коэффициента селективности от концентрации раствора

Была исследована динамика процесса травления ( $t=22^{\circ}\text{C}$ ) путём наблюдения пропускания через микроскоп с использованием капли раствора. Это позволило выделить, что коэффициент селективности сильно зависит от мощности записывающего пучка.

Таким образом, следует важный вывод, что коэффициент селективности определяется мощностью записывающего пучка и отношением весов  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  и  $\text{NaOH}$  в травителе и практически не зависит от температуры и концентрации. Когда не требуется высокого разрешения (если период дифракционной структуры более 1 мкм) лучше выбрать отношение  $P/P_c$  около 0.9 вместо 0.8 для лучшей селективности.

Также была сделана Попытка оценить возможности раствора, и были проведены эксперименты по травлению 8 подложек  $100 \times 100$  мм с толщиной плёнки хрома 100 нм в 40 мл раствора и не было замечено заметных отклонений в скорости травления.

Из результатов экспериментов по травлению экспонированных и неэкспонированных плёнок хрома можно сделать вывод, что излучение лазера вызывает не только поверхностное окисление плёнки хрома, также имеют место термохимические изменения по всей толщине плёнки хрома. Скорость травления зависит от степени растворения, в то время как коэффициент селективности остаётся практически одинаковым. Коэффициент селективности определяются мощностью записи и отношением весов  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  и  $\text{NaOH}$  в растворе и практически не зависит от температуры и концентрации.

## **11 СДАЧА СИСТЕМЫ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ**

Сдача в эксплуатацию смонтированной системы производится комиссией, созданной из представителей Исполнителя совместно с представителями Заказчика, прошедшими обучение и имеющими удостоверение на право эксплуатации системы.

Сдача в эксплуатацию состоит в проверке основных параметров системы путем проведения приемо-сдаточных испытаний (ПСИ). Программа и методика испытаний изложены в «Программе приемо-сдаточных испытаний круговой лазерной записывающей системы».

Состав комиссии согласовывается и утверждается сторонами не позднее, чем за 15 дней до момента проведения ПСИ.

ПСИ проводятся при наличии Акта о технологической подготовленности помещения, в котором отражается соответствие эксплуатационных параметров помещения, где установлена система, техническим характеристикам, необходимым для эксплуатации системы.

Приемо-сдаточные испытания заканчиваются составлением Акта сдачи-приемки системы. Дата двухстороннего подписания Акта считается датой ввода системы в эксплуатацию.

## 12 ПРИЛОЖЕНИЕ А. СХЕМЫ УСТРОЙСТВ

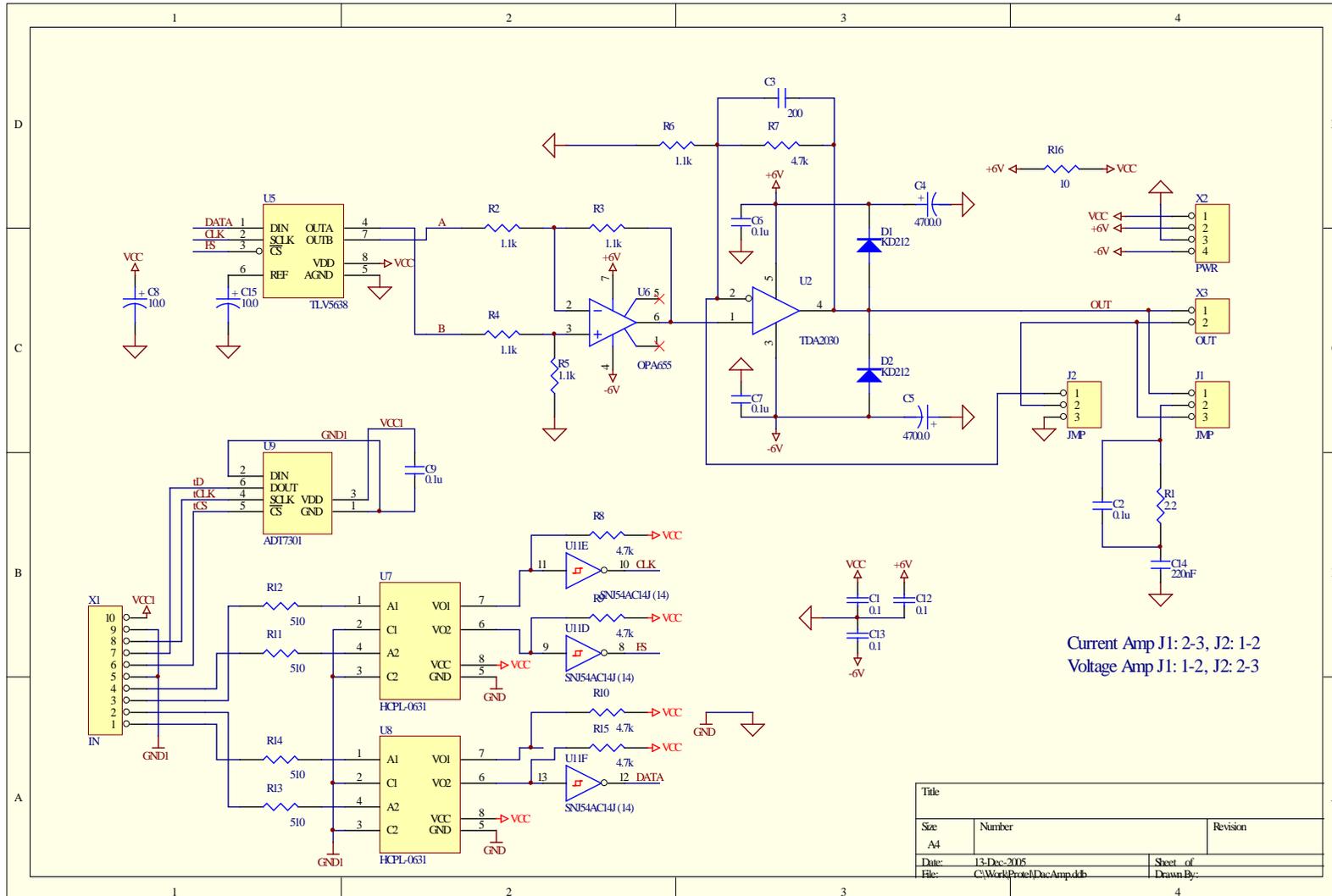


Рисунок 12.1 - Усилитель тока исполнительного элемента автофокуса

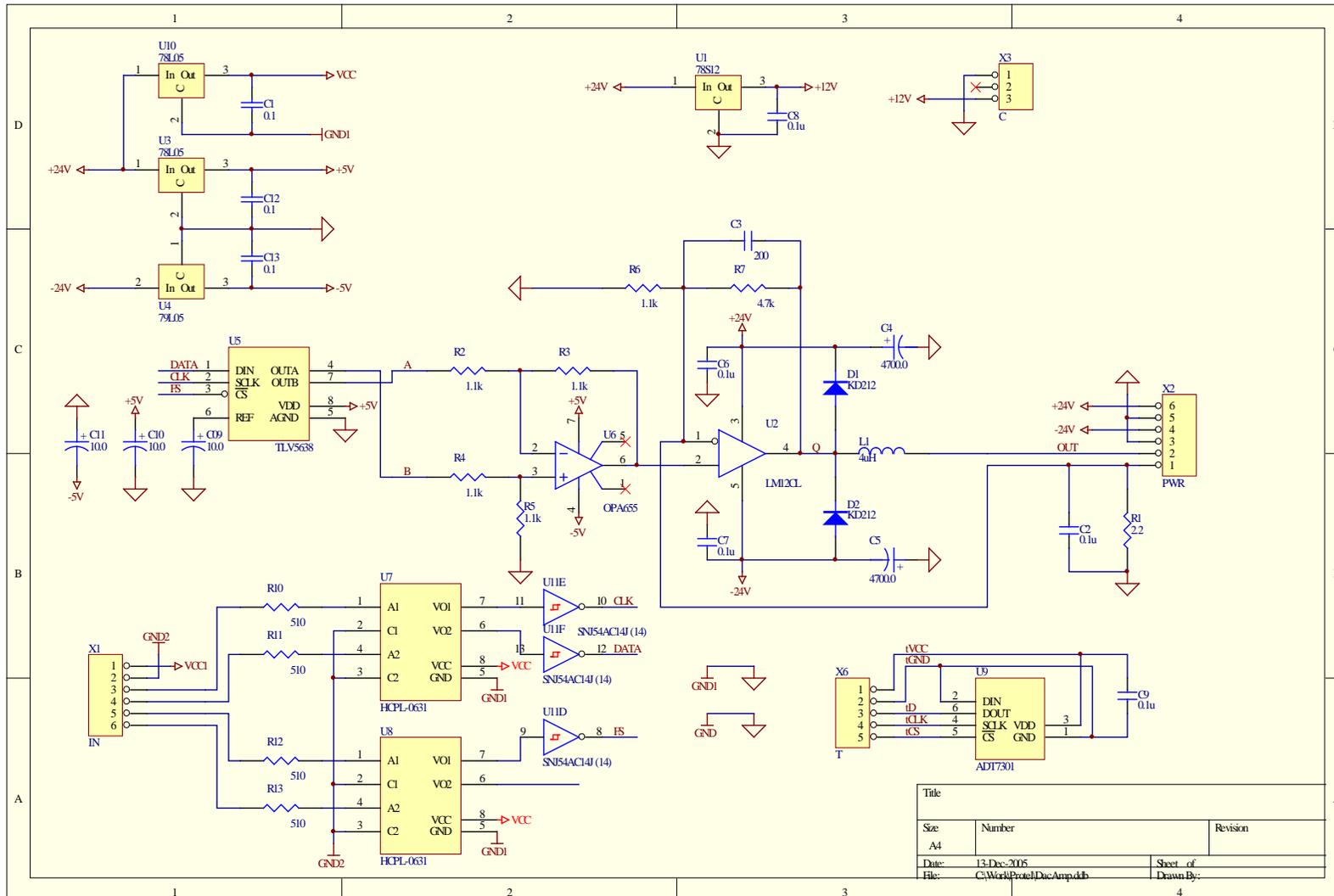


Рисунок 12.2 – Усилитель тока линейной и угловой координаты

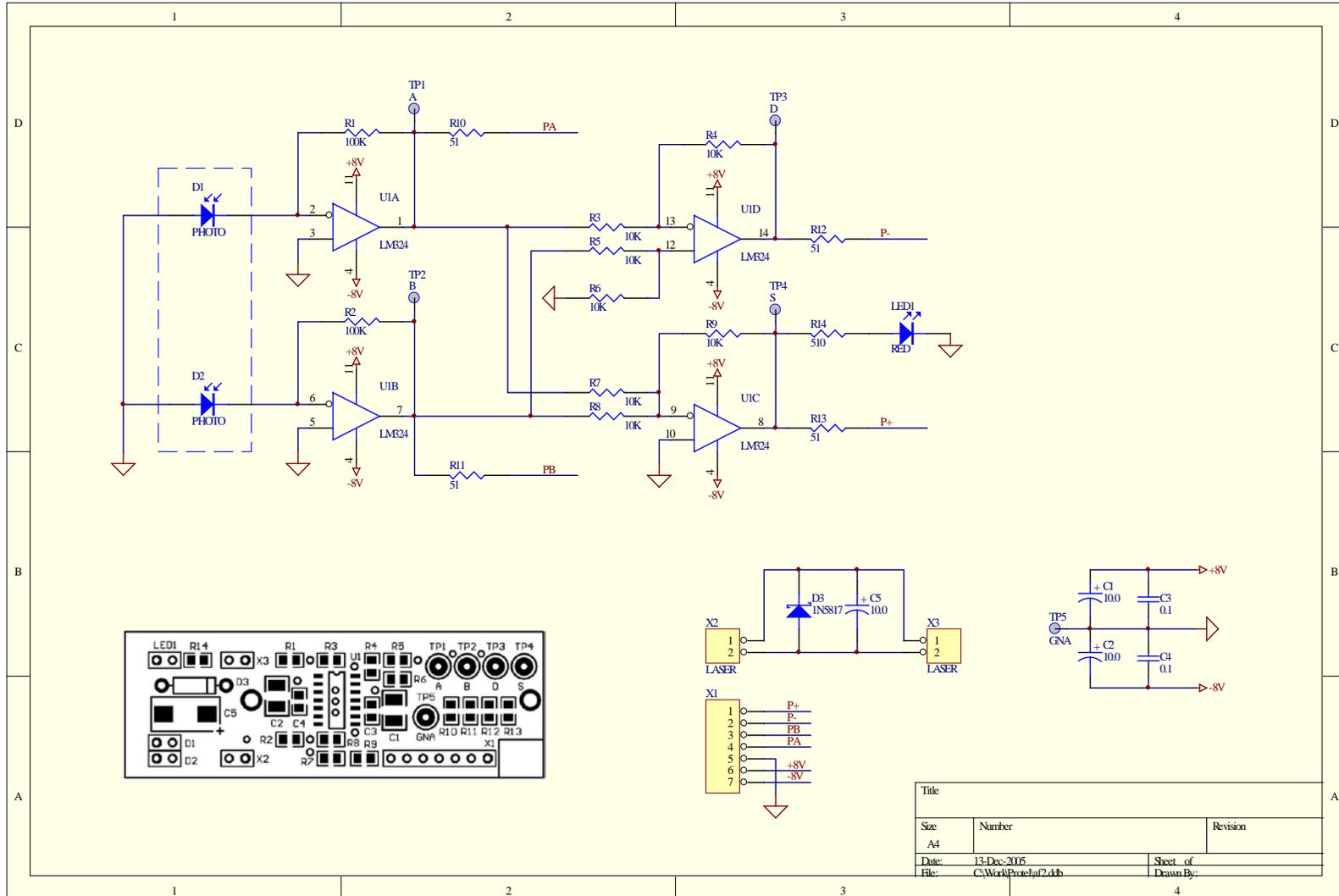


Рисунок 12.3 - Датчик автофокуса

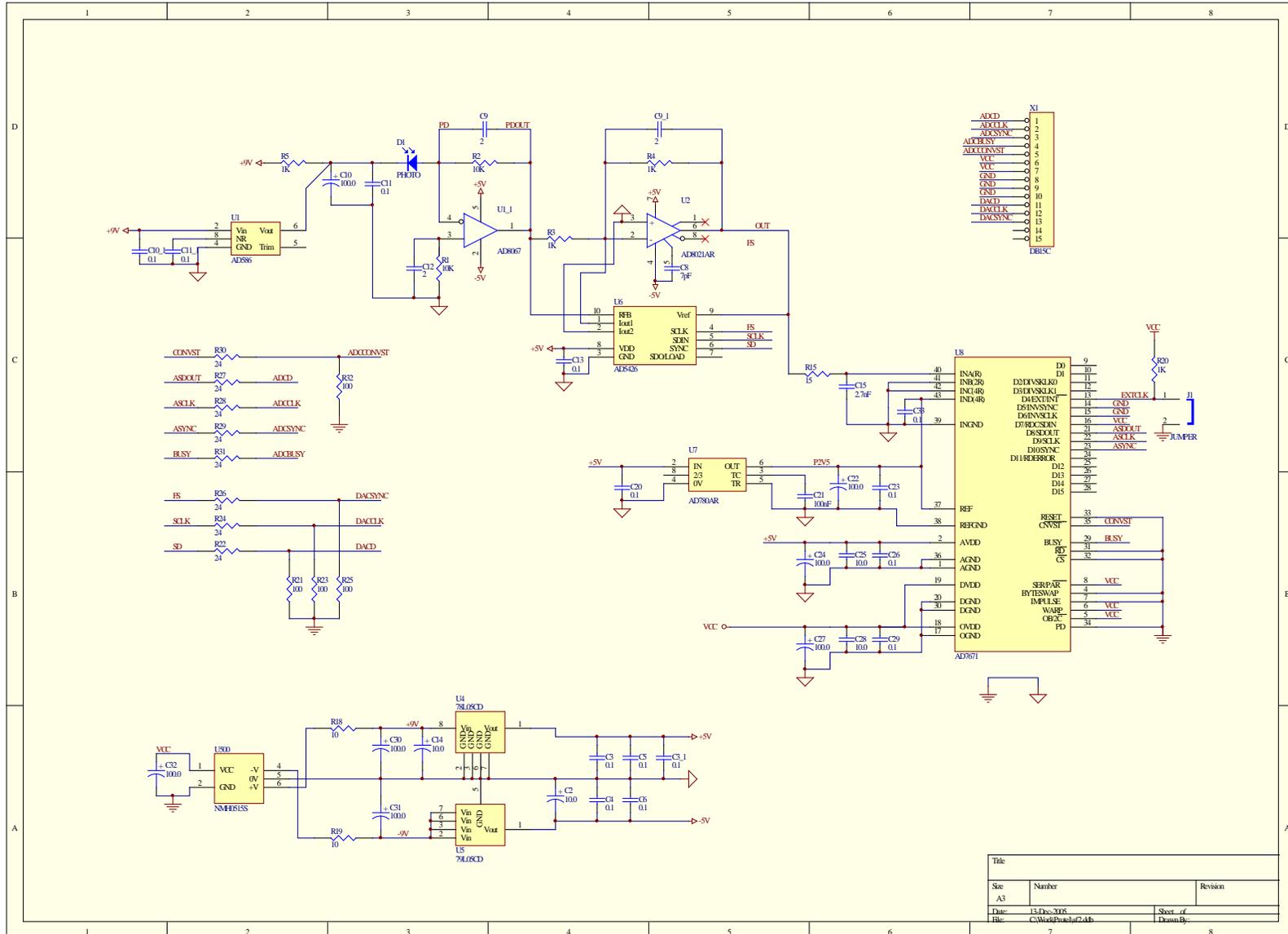


Рисунок 12.4 – Цифровой фотоприемник (отраженного сигнала и контроля мощности)

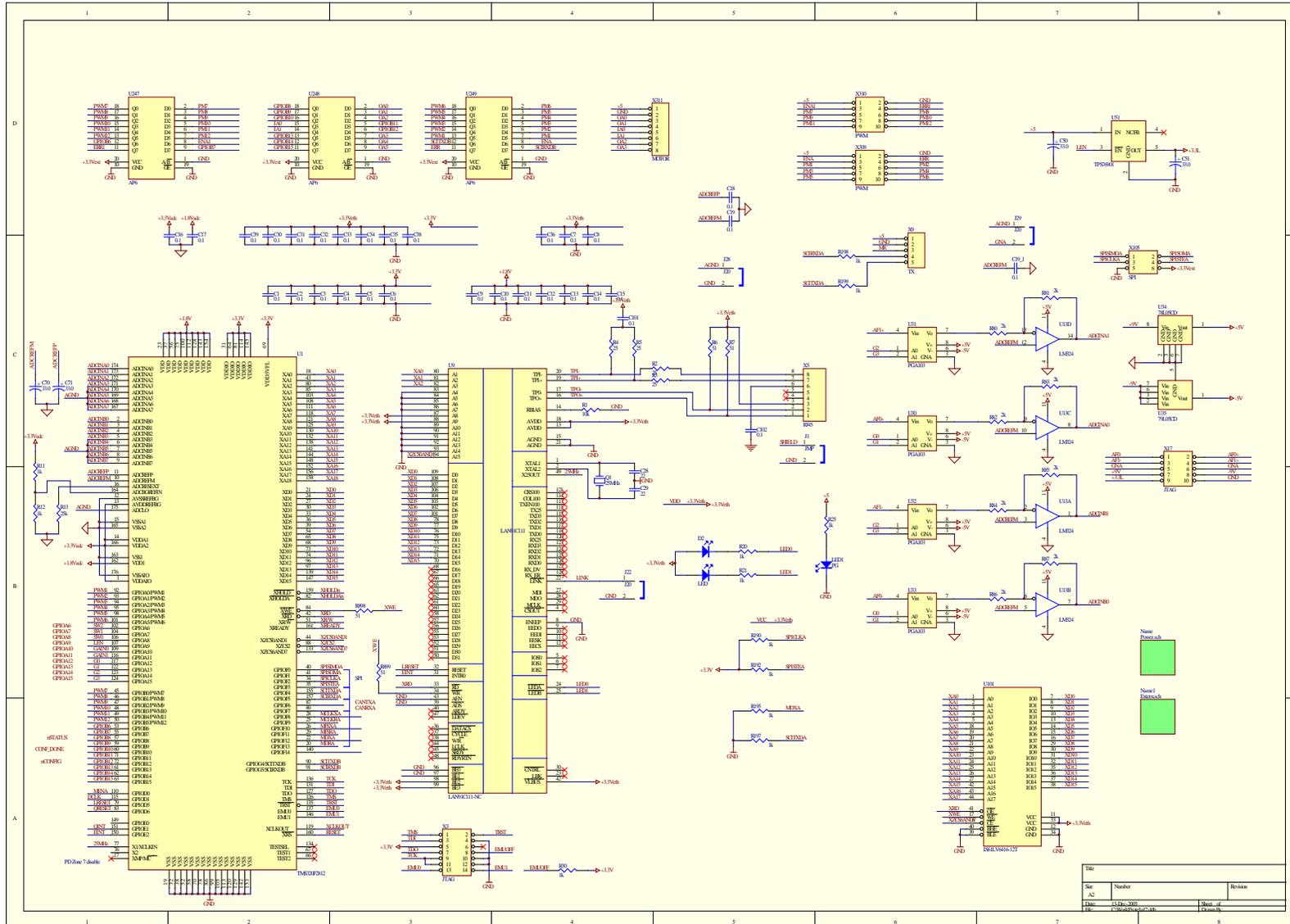


Рисунок 12.5 - Плата управления/контроля головки записи

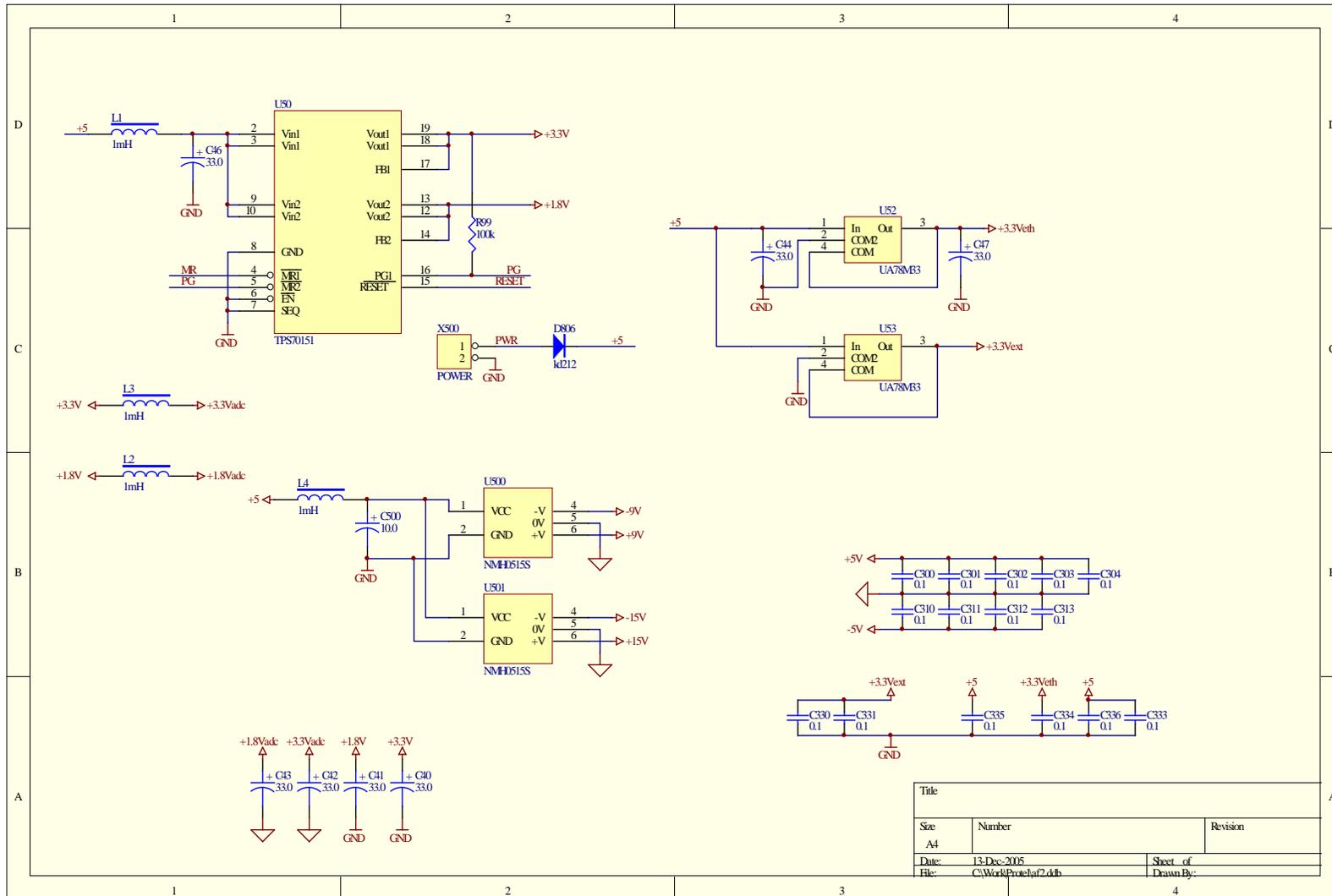


Рисунок 12.6 - Плата управления/контроля головки записи (питание)



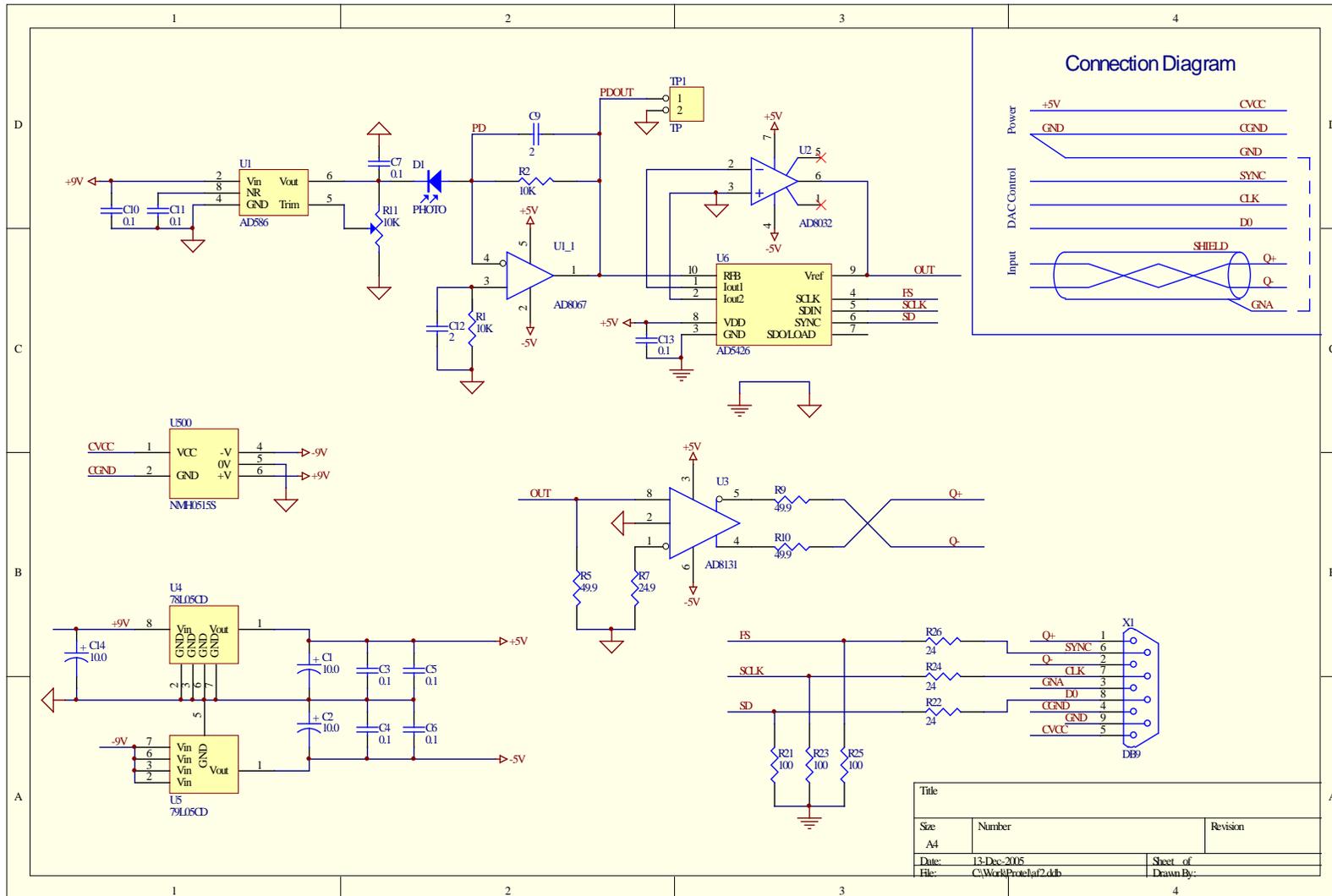
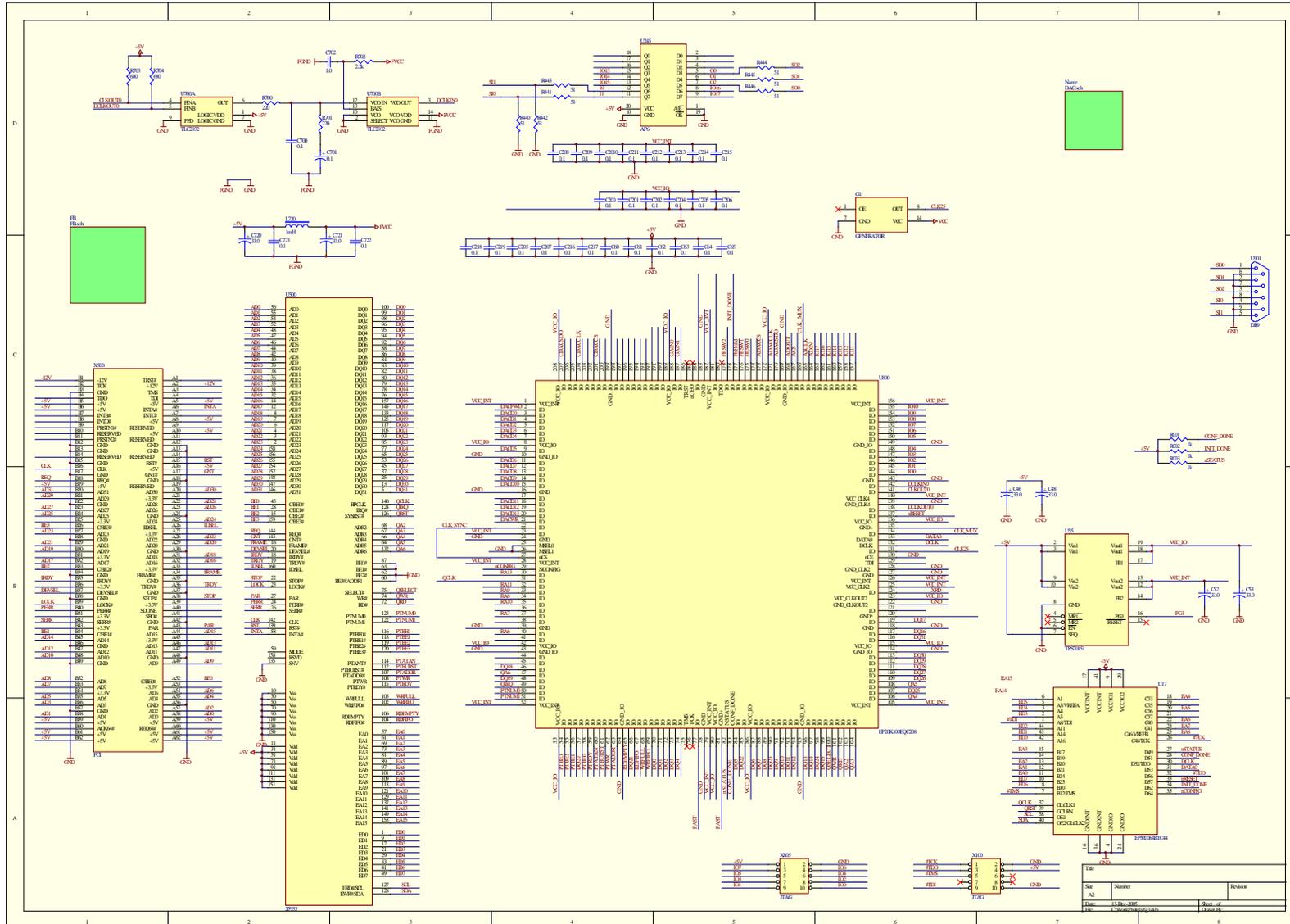


Рисунок 12.8 – Аналоговый фотоприемник





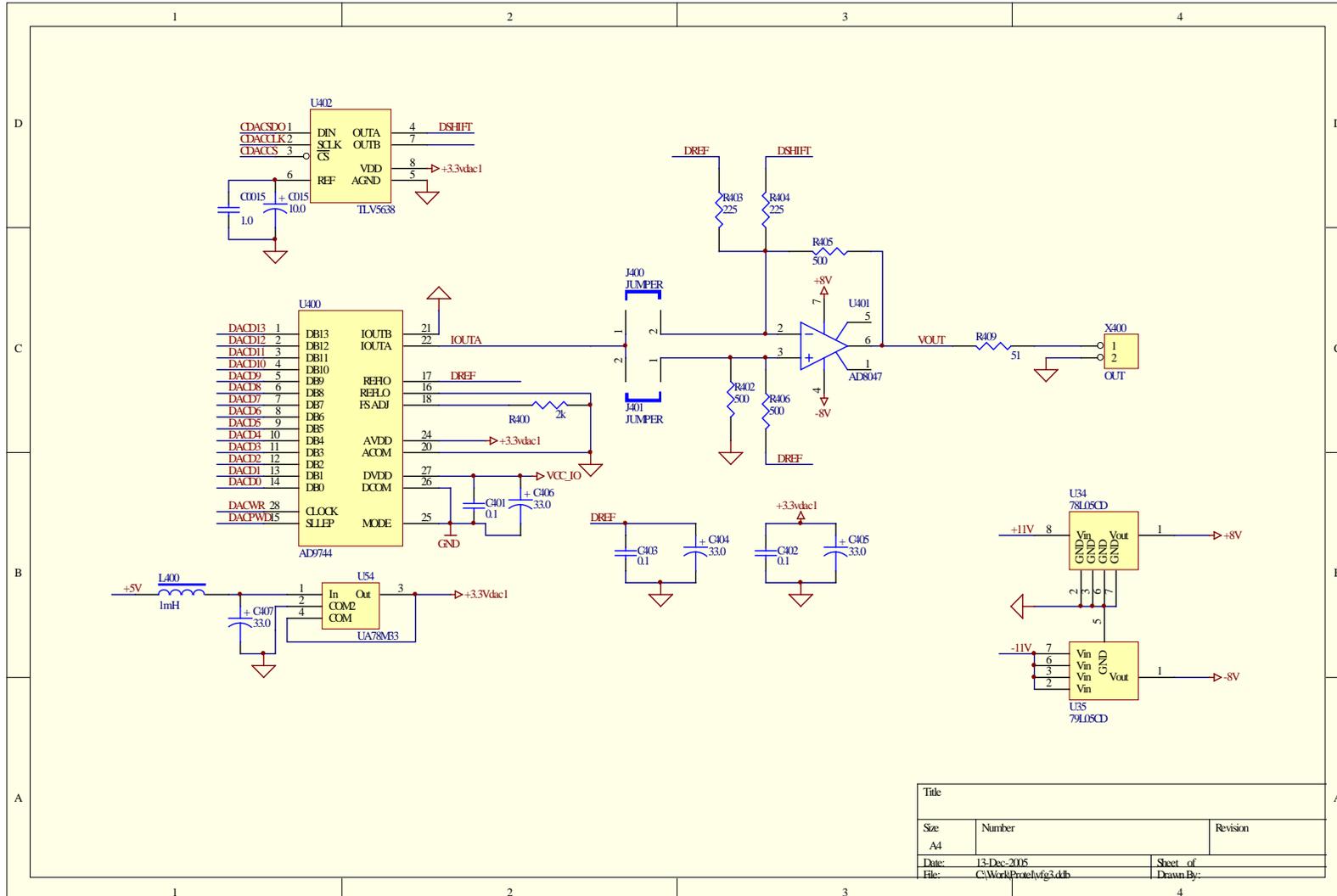


Рисунок 12.11 - Выходной каскад векторного функционального генератора