

Техническое описание и руководство по эксплуатации диодного лазера с внешним резонатором ECDL-6708R (S/N 061000)

Диодный лазер с внешним резонатором ECDL-6708R является источником перестраиваемого высококогерентного излучения в видимой области оптического спектра. Центральная длина волны рабочего диапазона равна 670 нм. При этом возможна ее отстройка на 2 нм, как в коротковолновую, так и в длинноволновую сторону. Лазер может использоваться в метрологии, спектроскопии, интерферометрии.

ECDL-6708R состоит из оптической головки и электронного блока управления, которые соединяются кабелем VGA типа. Стандартная длина кабеля составляет 1,8 м. Блок управления должен подключаться к сети переменного напряжения через розетку, имеющую контакт **независимого заземления**. Оптическая головка при правильном подключении заземлена, однако следует учитывать, что в состав оптической головки входит пьезоэлемент, питаемый напряжением 210 В. При снятой крышке возможен доступ к его контактам.

Оптическая головка.

В состав оптической головки (Рис.1) входят хладопровод лазерного диода (поз.1), просветленный лазерный диод (LD) с коллимирующим объективом ($N_A=0.48$; $f=4.5$ мм; выходная апертура – 4.3 мм), термоэлектрические микрохолодильники (элементы Пельтье), термодатчики, вмонтированные в хладопровод лазерного диода и корпус оптической головки (два термистора по 10 кОм). Лазерный диод и коллимирующий объектив жестко объединены в едином модуле (поз.2), который устанавливается в хладопровод. Два контура термостабилизации поддерживают неизменными температуры, как хладопровода, так и всего корпуса оптической головки (поз.8), независимо друг от друга и таким образом, что корпус головки служит в качестве радиатора для внутреннего контура термостабилизации, а основание оптической головки является радиатором для внешнего контура термостабилизации. Основание оптической головки имеет с боков продольные пазы для ее установки на оптический стол. Следует применять такой монтаж оптической головки, при котором обеспечивается хороший теплоотвод от ее основания.

Оптический резонатор перестраиваемого лазера формируется задней гранью лазерного диода, имеющей высокий коэффициент отражения (90-95%), и дифракционной решеткой (2400 мм^{-1}), установленной в схеме Литрова (поз.3). Решетка

укреплена на горизонтальном валу, положение которого и определяет требуемое направление дифракции лазерного пучка. Пьезоэлемент (поз.6), толкающий рычаг с дифракционной решеткой, изменяет одновременно и угол падения луча на решетку, и длину резонатора. Это позволяет расширить диапазон непрерывной перестройки частоты излучения. Подстроечный прецизионный винт (поз.5) обеспечивает грубую перестройку лазерной длины волны.

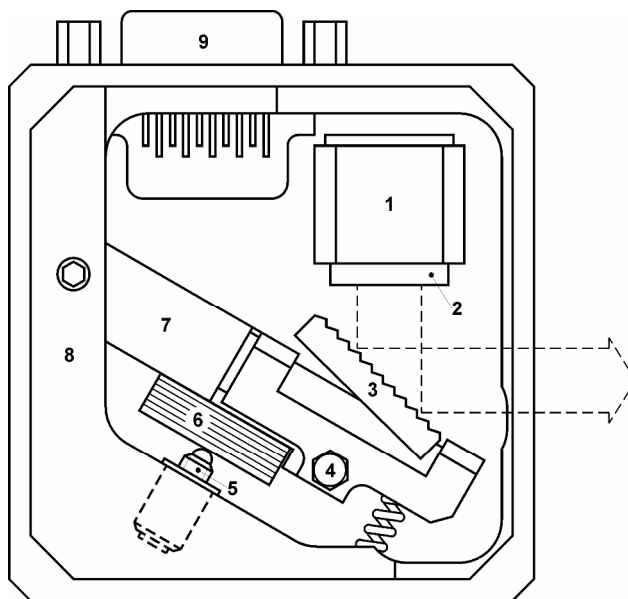


Рис.1. Оптическая головка (вид сверху при снятой крышке). 1 – хладопровод лазерного диода; 2- единый модуль лазерного диода и коллимирующего объектива; 3- дифракционная решетка, укрепленная на горизонтальном валу; 4 – вертикальный фиксирующий винт M2; 5 – горизонтальный юстировочный винт M3x0,25; 6 – пьезоэлемент; 7 – рычаг; 8 – корпус оптической головки; 9 – разъем DHS-15F.

Точное пространственное согласование падающей на решетку и дифрагированной волн критически важно для получения высокой когерентности и значительной мощности в выходном излучении лазера. ECDL-6708R не имеет штатных регулировок для настройки взаимного положения лазерного диода и коллимирующего объектива, а также для юстировки лазерного пучка в вертикальном направлении. Эти важные установки требуют серьезного навыка и выполнены предварительно на сборочном стенде. В случае повреждения или деградации лазерного диода модуль диода и коллимирующего объектива должен заменяться целиком.

В отличие от юстировки коллимирующего объектива небольшая подстройка лазерного луча в вертикальной плоскости возможна и после демонтажа оптической головки со сборочного стенда. Горизонтальная ось (горизонтальный вал) дифракционной решетки установлена в цанговом зажиме. Цанговый зажим фиксируется

или отпускается, когда вертикальный винт (поз.4) закручивается или выкручивается соответственно. Слегка асимметричный захват цанги приводит к проворачиванию горизонтального вала при закручивании винта 4 (Рис.1). Закручивание фиксирующего винта приводит к смещению лазерного луча вверх, выкручивание смещает луч вниз. **Не следует вращать фиксирующий винт более, чем на четверть оборота!** В противном случае он может быть поврежден, или горизонтальный вал будет полностью ослаблен.

Если требуется значительное смещение лазерного луча в вертикальной плоскости, то следует воспользоваться Г-образным ключом из ремонтного комплекта. Для установки данного ключа в торце горизонтального вала имеется шлицевой паз с резьбовым отверстием М2. При отпущенном фиксирующем винте 4 горизонтальный вал вращается свободно. После установки вала в требуемое положение он может быть вновь зажат с учетом упомянутого выше вращения вала при затяжке фиксирующего винта.

Как правило выходной пучок лазера астигматичен. Это связано и с его эллиптичностью, и с типом волновода структуры DL. Поэтому иногда наиболее эффективная оптическая обратная связь достигается при слегка сходящемся пучке, т.е. незначительная сходимость ($\sim 2 \times 10^{-3}$) лазерного пучка не означают неправильной юстировки коллиматора ECDL.

Блок управления.

Блок управления (ULDC112 – the universal laser diode controller) устанавливает ток и температуру лазерного диода, температуру корпуса лазера, длину внешней части лазерного резонатора с точностью, достаточной для достижения требуемых характеристик ECDL-6708R. Аналоговый блок питания обеспечивает все напряжения, требуемые для работы электронных узлов: стабилизированные $\pm 15\text{В}$, $+210\text{В}$, $\pm 5\text{В}$ и нестабилизированные $\pm 6\text{В}$. Под крышкой блока управления рядом с сетевым разъемом расположены три гнезда для плавких сетевых предохранителей. Одно гнездо соответствует переменному напряжению силовой сети 240В, другое – напряжению 220В, третье – напряжению 117В. **Единственный предохранитель номиналом 2А должен быть установлен в соответствующее гнездо!** Дополнительный предохранитель в 0.1 А (F1 на Рис.7) защищает выход высоковольтного блока питания от случайного замыкания. Для того, чтобы снять крышку блока управления, следует выкрутить четыре винта с его нижней стороны.

Передняя панель блока управления разделена на несколько функциональных зон, отражающих работу источника тока (CURRENT), контроллеров температуры (THERMO), высоковольтного усилителя (PZT) и шунта лазерного диода (LD) (Рис.2).

В зоне CURRENT расположены цифровой индикатор, рукоятки установки уровня тока лазерного диода (LEVEL), амплитуды сканирования тока (SWEEP) и уровня ограничения тока (LIMIT). Красный светодиод, расположенный над рукояткой LEVEL, загорается при достижении уровня ограничения тока. Максимальное значение тока для ULDC112 составляет 120 мА. Полный размах сканирования тока составляет четверть от максимального значения тока (около 30 мА).

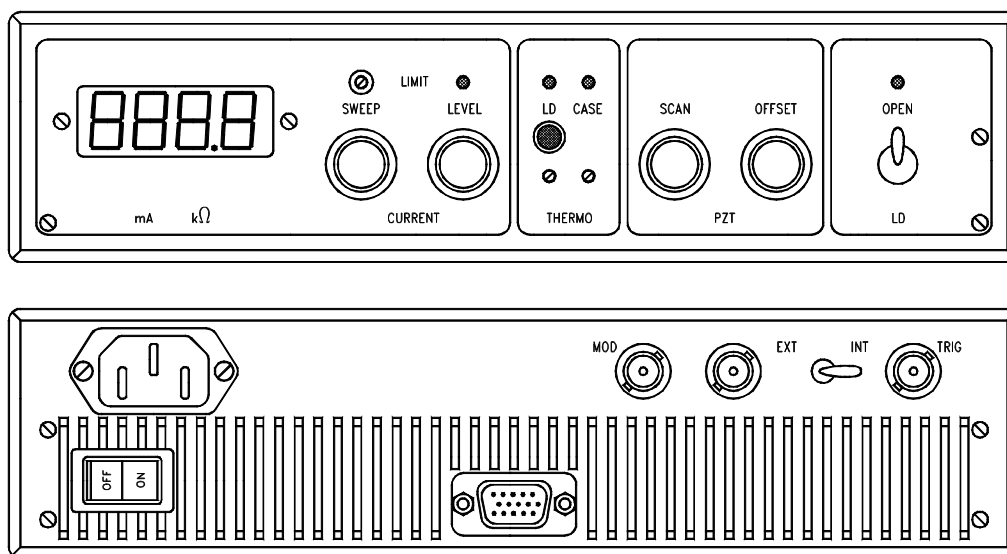


Рис.2. Вид спереди и сзади на блок управления.

Встроенный генератор треугольного сигнала может модулировать ток лазерного диода на сетевой частоте f и ее субгармониках $f/2$, $f/4$, $f/8$. Для установки частоты модуляции один из движков переключателя DIP-8 на печатной плате (SW5) должен быть установлен в положение ON. Принимая во внимание низкочастотный механический отклик лазерного резонатора, частота $f/4$ (т.е. 25 Гц для Европы и 30 Гц для США) предустановлена в ECDL-6708R. Для сканирования лазерной длины волны могут использоваться и более высокие частоты, если скорость сканирования важна, а дополнительными осцилляциями вблизи точек поворота направления сканирования можно пренебречь.

Поскольку треугольный сигнал управления током инжекции и напряжением PZT формируется из переменного напряжения силовой сети, то разность фаз этих двух

переменных сигнало постоянна. Это позволяет минимизировать влияние сетевых наводок при регистрации оптических и электрических сигналов.

Триммер ограничения тока (LIMIT) расположен над рукояткой SWEEP. Установка ограничения тока необходима для предотвращения деградации лазерного диода вследствие случайных перегрузок по току.

В зоне THERMO расположены два подстроечных сопротивления, устанавливающих температуру внутреннего (LD) и внешнего (CASE) контуров термостабилизации. Вращение по часовой стрелке приводит к увеличению температуры контролируемого объекта. Двухцветные светодиоды над триммерами отражают состояние соответствующей термостабилизации. Отсутствие какого-либо света в зоне THERMO свидетельствует об установлении требуемых температур лазерного диода и корпуса оптической головки. Зеленый цвет светодиода информирует об активном охлаждении соответствующего объекта, т.е. внешняя температура выше предустановленной для данного объекта. Красный цвет светодиода индицирует нагрев (внешняя температура ниже предустановленной). Светодиоды в зоне THERMO также горят красным, если оптическая головка разъединена с блоком управления.

Кнопка в зоне THERMO переключает цифровой дисплей из режима измерения тока лазерного диода в режим измерения величины сопротивления, задающего температуру лазерного диода. При нажатой кнопке дисплей показывает значение сопротивления в килоомах.

В функциональной зоне PZT установлены рукоятки регулировки амплитуды переменного (SCAN) и постоянного (OFFSET) напряжения, подаваемого на пьезоэлемент. Сигнал модуляции, подаваемый на вход высоковольтного усилителя, подобен сигналу, подаваемому на вход источника тока. Относительная фаза этих сигналов выбрана таким образом, чтобы реализовать согласованные изменения тока лазерного диода и длины лазерного резонатора. Это позволяет расширить диапазон непрерывной перестройки частоты выходного излучения лазера. Для сканирования пьезоэлемента используется практически полный (400В) диапазон выходного напряжения высоковольтного усилителя. Максимальная перестройка длины резонатора лазера достигается при среднем положении рукоятки OFFSET и полностью введенной рукоятке SCAN.

В зоне LD находятся тумблер размыкания шунта лазерного диода и индикатор состояния этого шунта. Рекомендуется держать лазерный диод закороченным

(светодиод погашен) в момент включения блока управления и до установления стационарного состояния обоих контуров термостабилизации. Когда тумблер LD переводится в состояние OPEN, светодиод загорается зеленым, и величина сопротивления, закорачивающего выводы лазерного диода, плавно изменяется с величины порядка 4 Ом до величины в десятки МОм, размыкая лазерный диод и защищая его от бросков тока в переходных процессах. Также шунт защищает от перегрузок лазерный диод при аварийном исчезновении любого из питающих источников тока напряжений ± 15 В.

В верхнем ряду задней панели ULDC112 расположены сетевой евро-разъем, входной разъем для высокочастотной (до 50 кГц) модуляции тока (MOD), входной разъем внешнего управляющего сигнала, переключатель управляющих сигналов (EXT-INT), и выходной разъем синхронизации (TRIG).

В положении INT переключателя управляющих сигналов на разъем TRIG подается треугольный сигнал размахом 5 В с выхода встроенного генератора, который может быть использован для синхронизации внешних устройств. Для того чтобы изменять выходную частоту ECDL-6708R внешним сигналом, переключатель управляющих сигналов должен быть установлен в положение EXT. В этом случае выход встроенного генератора отсоединяется от входов источника тока и высоковольтного усилителя, на которые теперь, как и на разъем TRIG, подается внешний сигнал.

Сигнал с разъема MOD поступает на вход источника тока независимо от положения переключателя EXT-INT. Отклик в изменении тока по входу MOD в 50 раз меньше, чем по входу EXT.

В нижнем ряду задней панели ULDC112 установлены сетевой выключатель и разъем подключения оптической головки к блоку управления (DHR-15M).

Подготовка к работе ECDL-6708R.

1. Соединить кабелем VGA типа оптическую головку и блок управления.
2. Проверить положение рукояток SWEEP и LEVEL. Они должны быть в крайнем левом положении.
3. Подсоединить сетевой шнур к **ЗАЗЕМЛЕННОЙ** розетке. Включить сетевой тумблер, расположенный на задней панели, и подождать до момента установления

стационарного температурного режима лазерного диода и корпуса оптической головки (светодиоды в зоне THERMO должны погаснуть).

4. Разомкнуть выводы лазерного диода тумблером LD-OPEN и установить рекомендуемый уровень тока.

Выключение ECDL-6708R.

1. Вывести обе рукоятки SWEEP и LEVEL до нуля (в крайнее левое положение).
2. Замкнуть выводы лазера тумблером LD-OPEN (рычажок вниз, индикатор состояния шунта погас).
3. Выключить блок управления сетевым тумблером.

Перестройка частоты ECDL-6708R.

Механическая стабильность ECDL-6708R достаточно высока, чтобы сохранять выходные параметры лазера в течение недель. Так что регулировка тока инжекции лазерного диода и напряжения на пьезоэлементе является достаточным средством для точной настройки лазера на желаемую длину волны (например, длину волны атомного перехода). Однако ухудшение характеристик ECDL (увеличение порогового тока, уменьшение выходной мощности и диапазона перестройки частоты, слабое подавление боковых мод, возрастание амплитудного шума) может свидетельствовать о необходимости подъюстировки внешнего резонатора.

Следующие экспериментальные данные описывают работу ECDL-6708R и могут служить в качестве образцовых при его юстировке.

На рисунке 3 показаны осциллограммы, соответствующие ватт-амперным характеристикам (WtAX) ECDL-6708R, т.е. зависимостям выходной мощности лазера от тока инжекции, при различных положениях решетки в плоскости дифракции. Встроенный генератор треугольного сигнала, по которому также синхронизируется развертка осциллографа, линейно во времени увеличивает и уменьшает ток лазерного диода, а соответствующее изменение выходной мощности лазера регистрируется фотоприемником. Поведение управляющего сигнала во времени показано на Рис.3б.

Практически горизонтальные участки в основании осциллограмм соответствуют допороговому режиму лазера. С появлением генерации выходная мощность монотонно нарастает с ростом тока (исключая зоны перескоков мод).

Изменение тока накачки лазерного диода вызывает соответствующие вариации температуры и показателя преломления усилительной среды, что ведет к изменению оптической длины диода и в целом длины резонатора ECDL. Регулярные резкие (длительностью менее микросекунды) скачки небольшой амплитуды на ВтАХ обусловлены перескоками по модам ECDL.

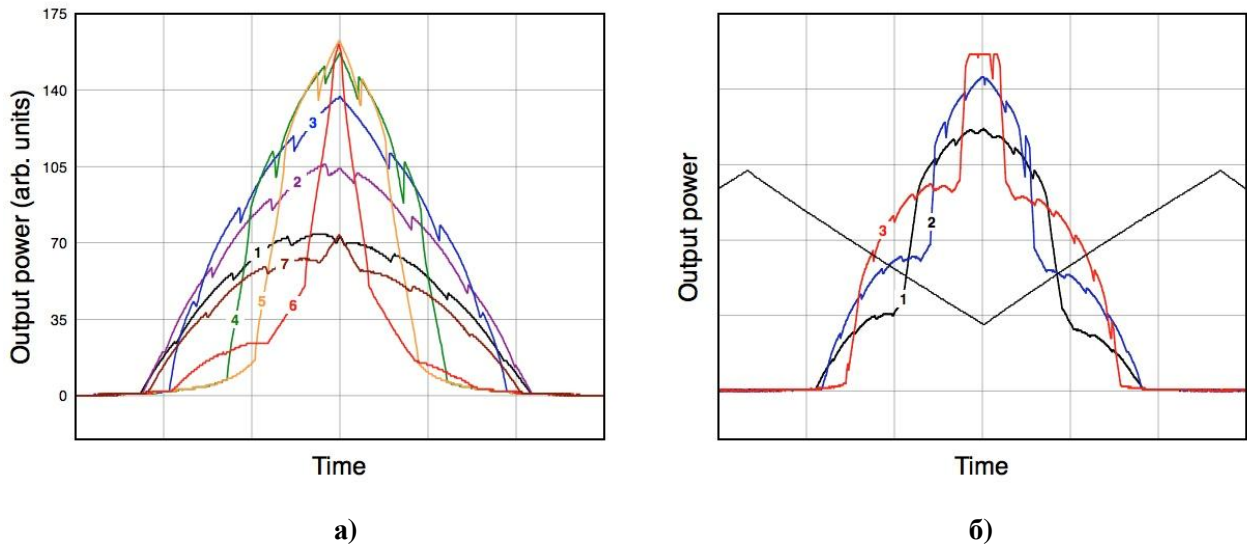


Рис. 3. Зависимости выходной мощности лазера от тока инжекции при различных положениях решетки в плоскости дифракции. Ток лазерного диода модулируется симметричным треугольным сигналом (показан на рисунке 3б). Случаи а) и б) различаются амплитудой сканирования (зависимости сняты при постоянном напряжении на пьезоэлементе).

Остаточный коэффициент отражения передней (выходной) грани лазерного диода составляет доли процента, которых достаточно для значительной модуляции выходной мощности ECDL из-за влияния неподавленных собственных мод лазерного диода. Такое существенное изменение мощности при сближении мод ECDL и LD хорошо видно на кривой 6 Рис.3а и всех ВтАХ Рис.3б, при записи которых амплитуда сканирования тока была максимальна и обеспечивала перестройку собственной моды LD на область его свободной дисперсии (на кривой 3 Рис.3б видно сразу два скачка большой амплитуды). Уплотнение на вершине кривой 3 Рис.3б обусловлено срабатыванием ограничителя тока накачки LD.

Вышеприведенные зависимости сняты при постоянном напряжении на пьезоэлементе (рукоятка SCAN установлена в крайнее левое положение).

При вращении решетки в плоскости дифракции происходит изменение взаимного расположения по частоте контура селективности дифракционной решетки, мод лазерного диода (собственных мод) и мод ECDL (внешних мод). Такое изменение

наглядно отражается в характере ватт-амперных характеристик, благодаря чему они служат удобным инструментом для выбора оптимального режима работы ECDL.

Семейство ВтАХ на Рис.3а снято для различных положений дифракционной решетки, при которых движению решетки в одном направлении соответствуют кривые с монотонно нарастающими номерами. Таким образом, кривые 1 и 7 практически замыкают цикл взаимного частотного перестроения контура селективности решетки и собственной моды. Дальнейший сдвиг контура селективности в направлении следующей собственной моды повторит эволюцию ВтАХ.

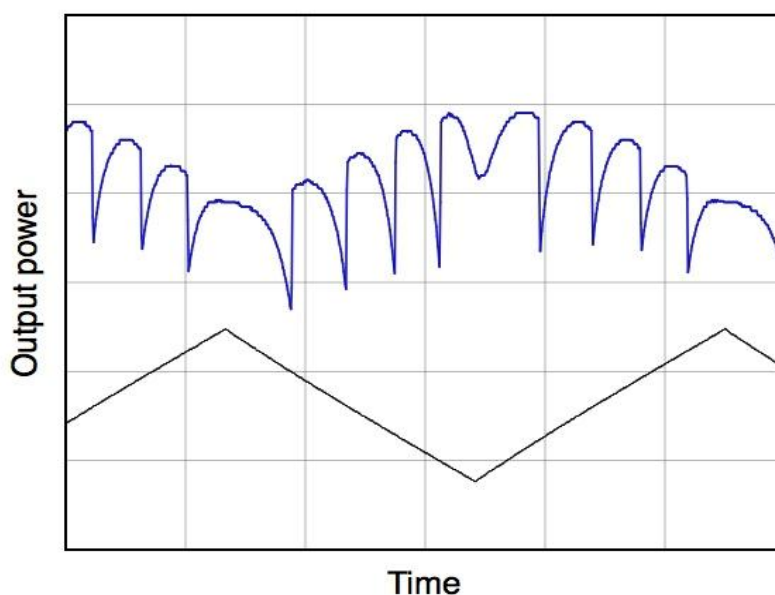


Рис. 4. Зависимость выходной мощности лазера от напряжения на пьезоэлементе. Напряжение меняется согласно управляющему сигналу (показан черным). Ток лазерного диода не меняется.

Следующая осциллограмма (Рис.4) снята при постоянном токе лазерного диода и линейно изменяющемся со временем напряжении на пьезоэлементе. Амплитуда сканирования пьезоэлемента выбрана максимальной. Выходная мощность ECDL-6708R меняется при сканировании длины внешнего резонатора на величину нескольких процентов от своего среднего значения, поэтому нулевой уровень мощности находится внизу за пределами экрана. На записанной кривой хорошо видны скачки, связанные с перескоками мод внешнего резонатора, между которыми выходная частота лазера меняется на несколько ГГц (диапазон, соответствующий области свободной дисперсии ECDL).

Для оценки ширины линии генерации ECDL использовался конфокальный интерферометр Фабри-Перо типа с областью свободной дисперсии 250 МГц и

резкостью около 50. На рисунке 5 представлен сигнал пропускания этого интерферометра при сканировании частоты генерации ECDL-6708R. Хорошее отношение сигнал/шум записанных пиков показывает, что ширина линии генерации ECDL существенно меньше аппаратной ширины данного многопроходного интерферометра (< 5 МГц).

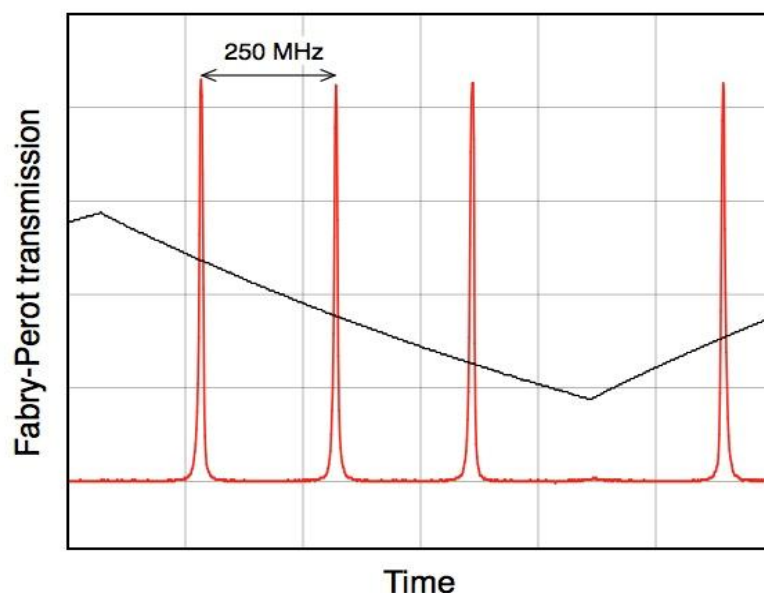


Рис. 5. Пропускание интерферометра Фабри-Перо типа при сканировании частоты генерации ECDL-6708R. Черным показан сигнал, управляющий напряжением на пьезоэлементе.

Изменение тока инжекции приводит к изменению оптической длины собственного резонатора лазерного диода вследствие изменения показателя преломления активной среды и теплового расширения кристалла. Это принципиально позволяет в определенном диапазоне синхронизировать движение собственной и внешней мод составного резонатора лазера и увеличить диапазон непрерывной перестройки длины волны ECDL-6708R.

На рисунке 6 показаны ватт-амперные характеристики ECDL при одновременном сканировании тока лазерного диода и напряжения на пьезоэлементе (красная кривая) и при сканировании только током (синяя кривая). На синей кривой видны упоминаемые выше скачки по внешним модам, которые полностью исчезают на красной кривой. Диапазон непрерывной перестройки частоты генерации ECDL в случае синхронного сканирования тока и пьезоэлементов увеличивается пропорционально числу подавленных перескоков.

Поскольку максимальная амплитуда сканирования тока ограничена с нижней стороны уровнем порогового тока, а с верхней максимально допустимой величиной тока для данного диода, то для ECDL-6708R диапазон непрерывной перестройки составляет порядка 35 ГГц ($\sim 0.5 \text{ \AA}$ на длине волны 670 нм). Для получения максимального диапазона непрерывной перестройки частоты лазера последовательность действий такова:

- 1) Установить уровень тока, равный среднеарифметическому между пороговым и максимально допустимым.
- 2) Ввести рукоятку SWEEP до максимального уровня, еще не допускающего срабатывания принудительного ограничения тока (светодиод LIMIT на передней панели полностью погашен).
- 3) Ввести рукоятку SCAN до уровня, при котором все скачки в мощности лазера сливаются в одну сплошную прямую.

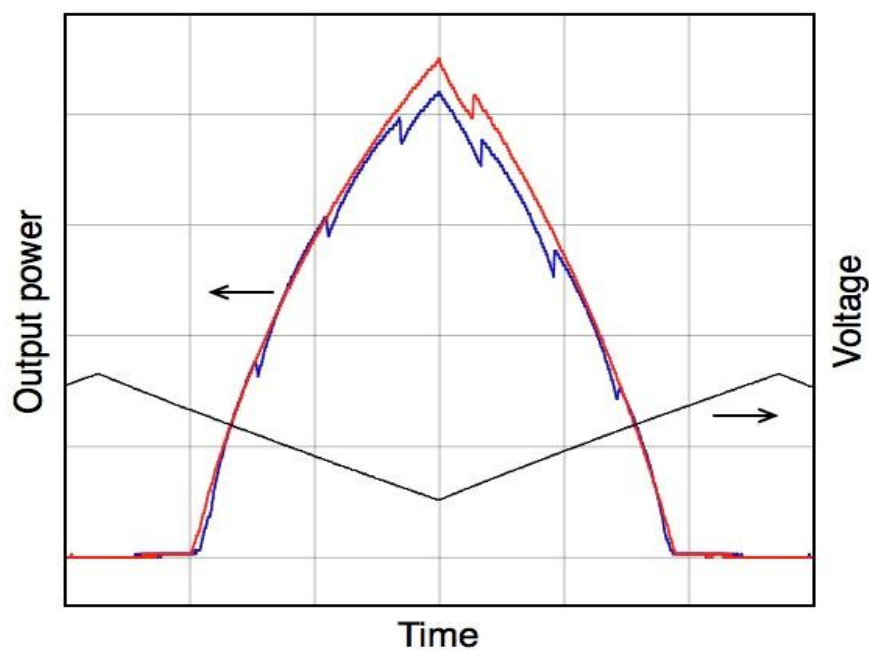


Рис. 6. Ватт-амперные характеристики ECDL-6708R в отсутствии (синяя кривая) и при наличии (красная кривая) сканирования пьезоэлементов, синхронного с током накачки. Черным показан сигнал управления током накачки и напряжением на пьезоэлементе.

Следует отметить, что из-за определенной задержки пьезоэлемента в отклике на управляющий сигнал по отношению к току (степень задержки зависит от частоты и амплитуды сканирования), нельзя получить одновременно на обоих склонах управляющего сигнала строго согласованный сдвиг собственной и внешней мод. Поэтому поведение лазера в отношении перестройки частоты отличается для разных

склонов управляющего сигнала (на правом склоне красной кривой остается неподавленный перескок моды).

Юстировка ECDL-6708R.

Ниже приведена последовательность действий, если выявлено, что требуется подюстировка лазера.

1) Вставить Г-образный ключ из ремкомплекта в шлицевой паз горизонтальной оси дифракционной решетки.

2) Определить направление, в котором движение Г-образного ключа приводит к уменьшению порогового тока. Для этого мягко понажимать на рычаг вверх и вниз.

3) Если движение рычага вниз (т.е. лазерный луч, отраженный от дифракционной решетки движется вверх) приводит к уменьшению порогового тока, то следует вращать фиксирующий винт (Рис.1, поз.4) по часовой стрелке. В противоположном случае фиксирующий винт следует слегка ослабить. Для вращения фиксирующего винта используется средний шестигранный ключ из ремкомплекта. Как правило, вращения на несколько градусов достаточно для восстановления режимов работы ECDL-6708R.

4) После достижения минимума порога генерации установить, если требуется, необходимую длину волны горизонтальным юстировочным винтом (Рис.1, поз.5), доступ к которому возможен и при закрытой крышке оптической головки. Для вращения горизонтального юстировочного винта используется самый малый шестигранный ключ из ремкомплекта.

Приложение. Принципиальные и монтажные схемы ULDC112.

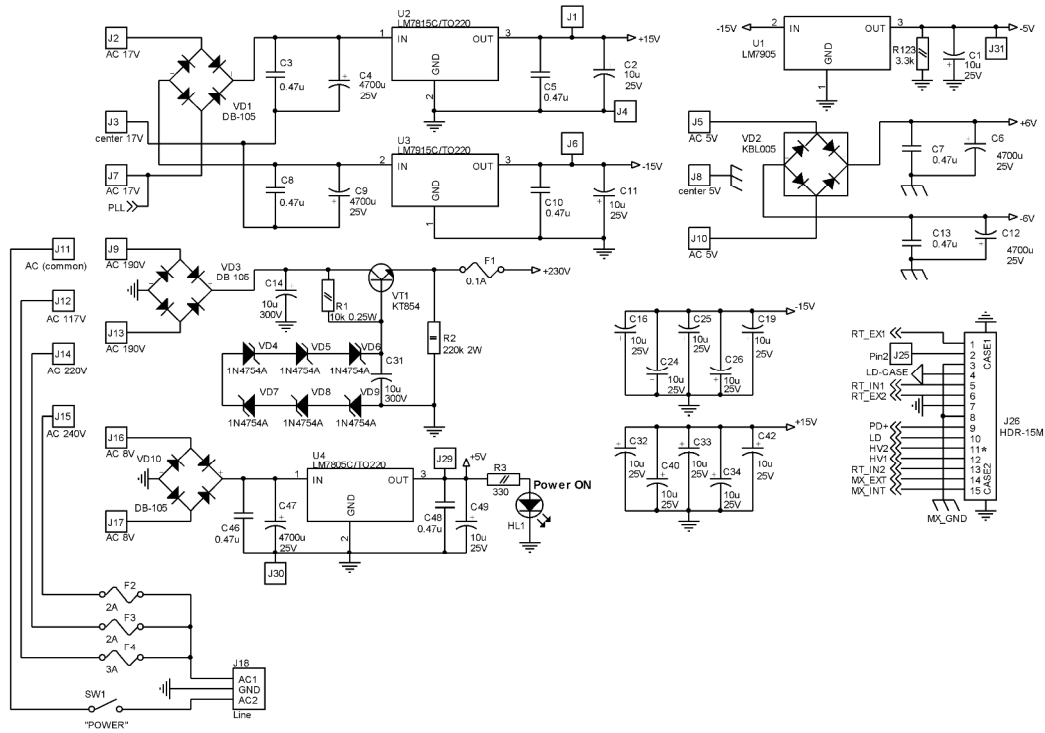


Рис.7. Схема блока питания.

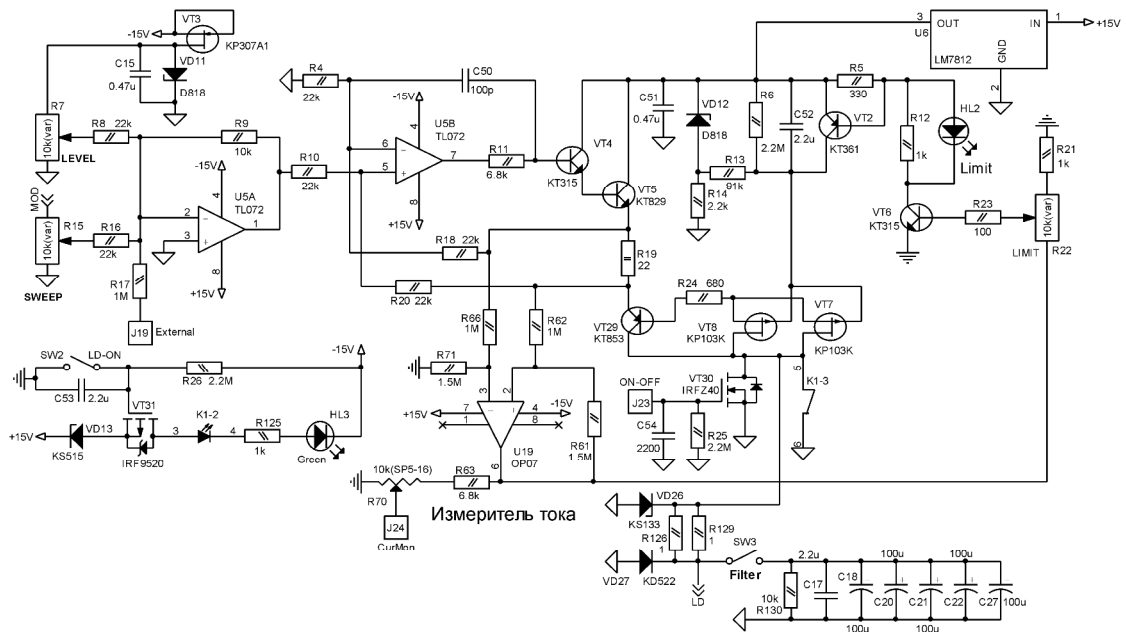


Рис.8. Схема источника тока.

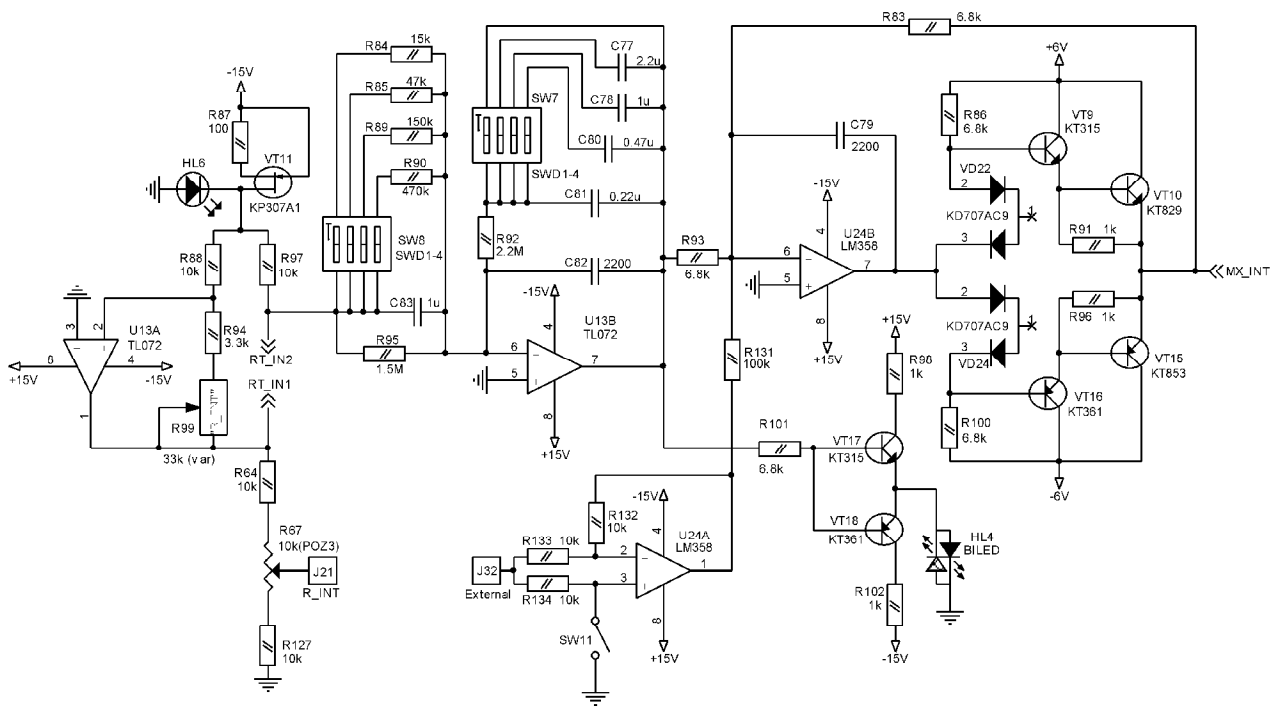


Рис.9. Схема контроллера температуры лазерного диода.

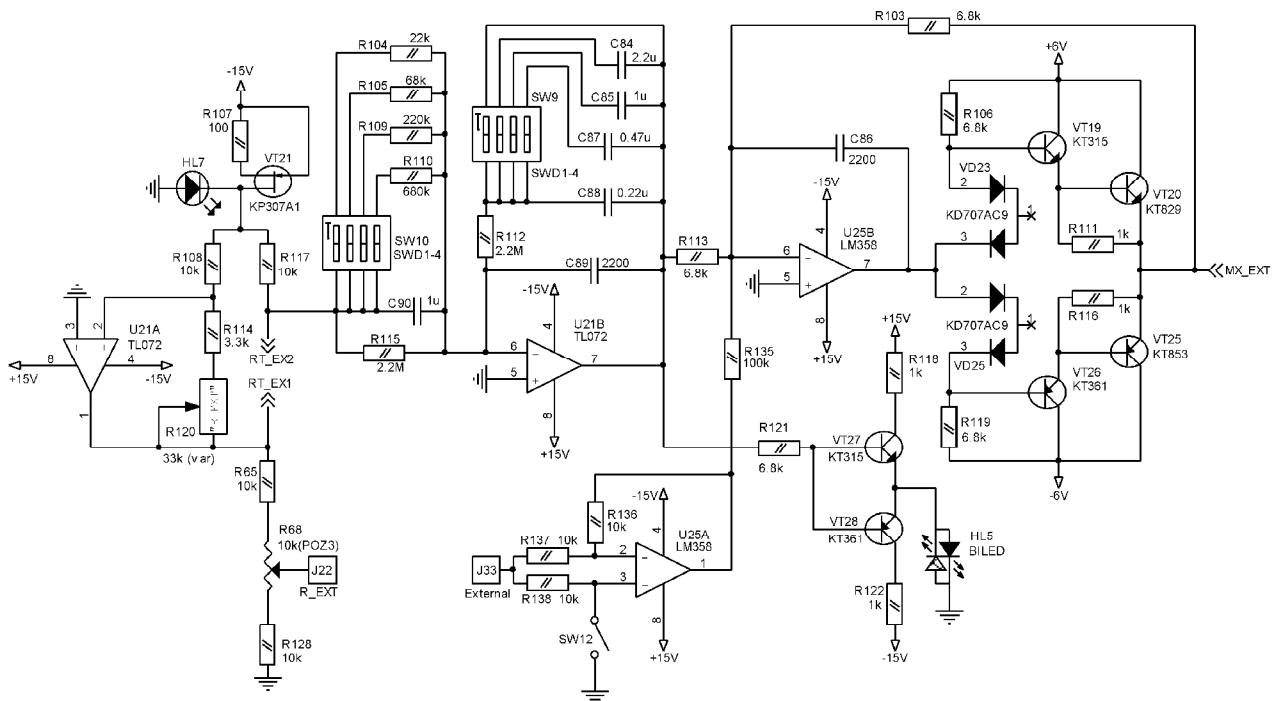


Рис.10. Схема контроллера температуры корпуса оптической головки.

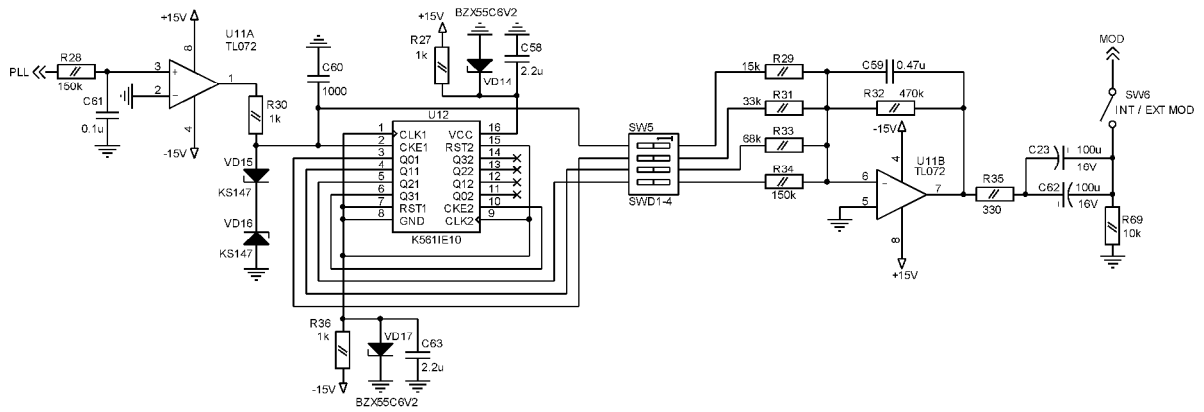


Рис.11. Схема генератора треугольного сигнала.

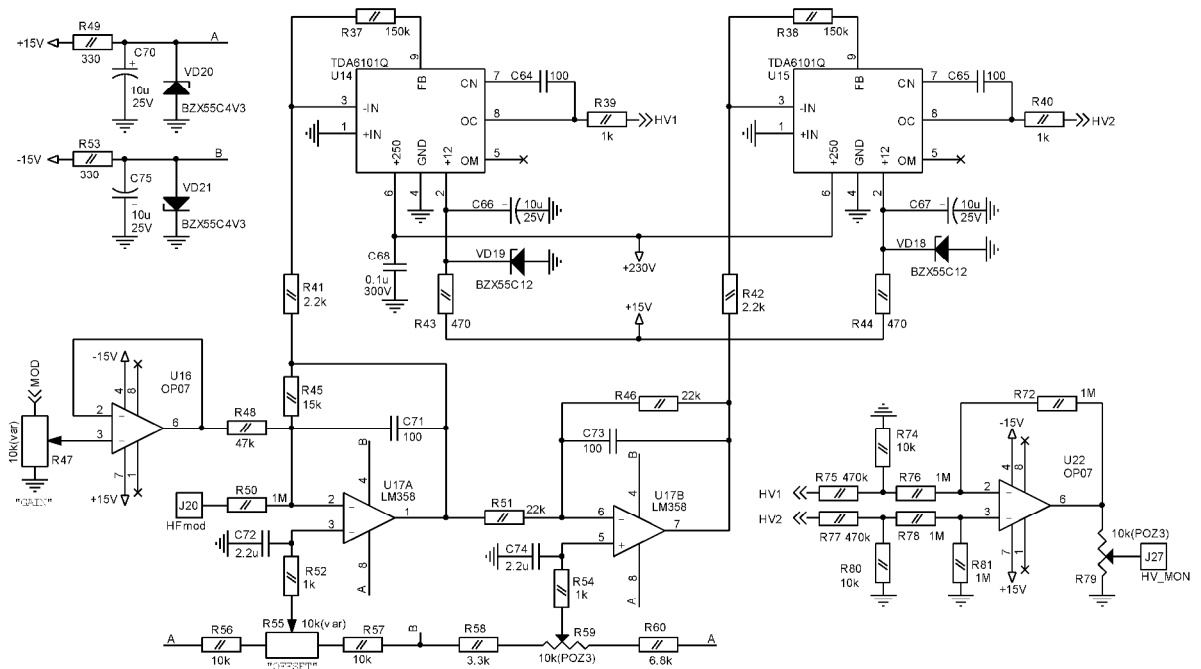


Рис.12. Схема высоковольтного усилителя.

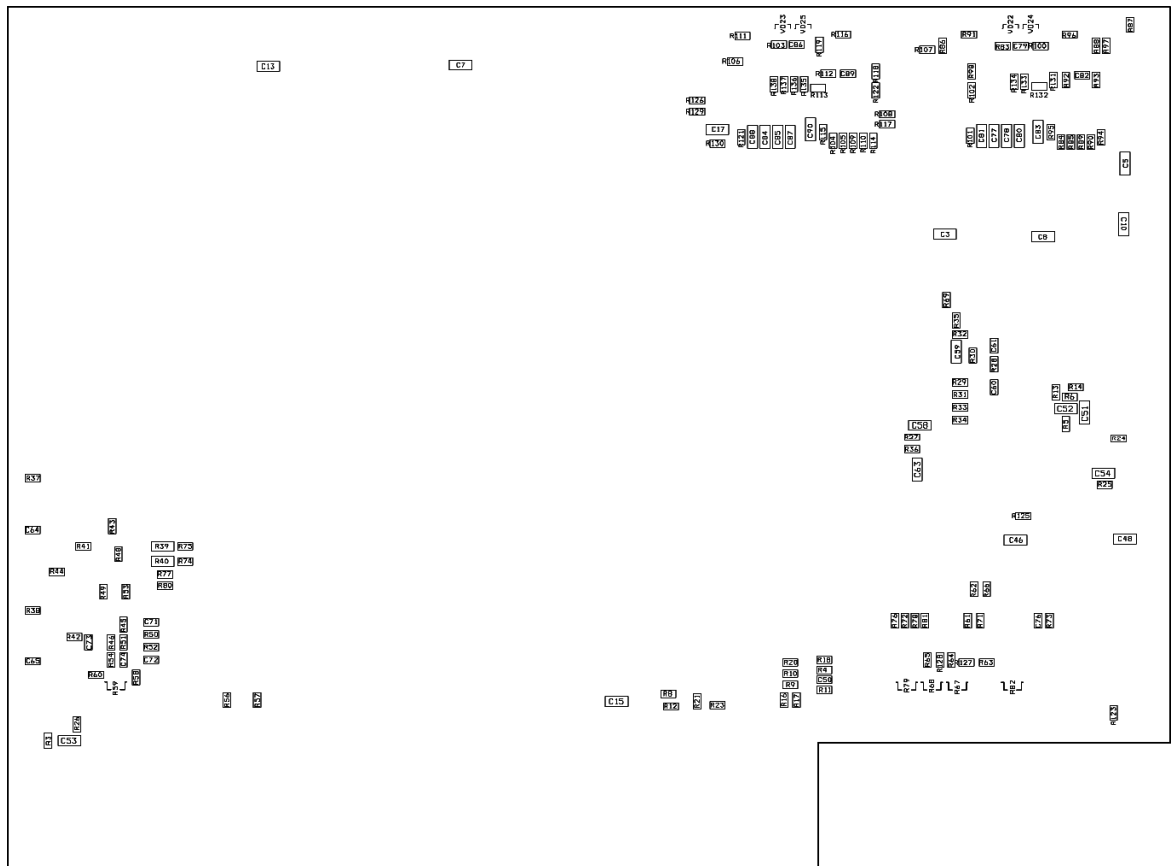
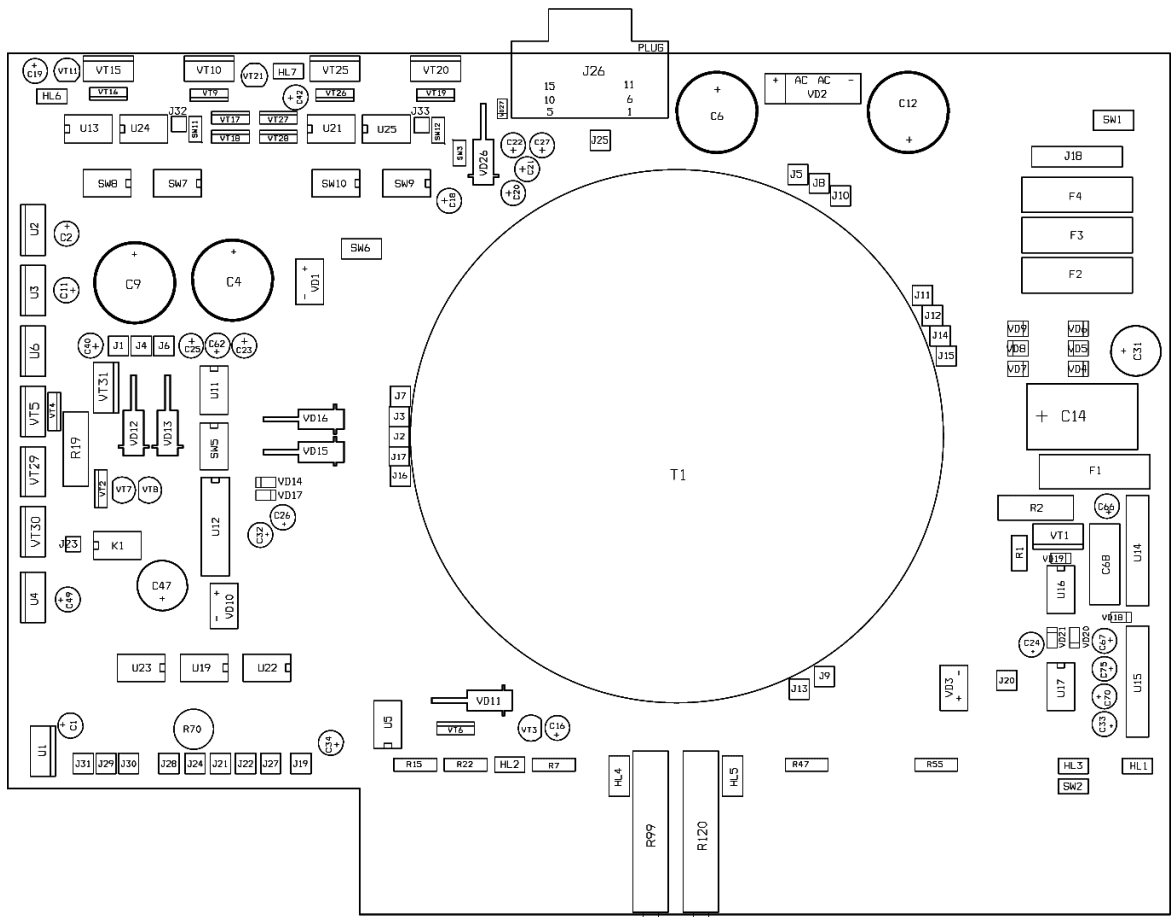


Рис.13. Монтажные схемы ULDC112.

Общие рекомендации по эксплуатации ECDL-6708R.

1. Не пытайтесь изменить настройку выходного объектива. В случае деградации лазерного диода единый модуль диода и объектива должен заменяться целиком.

2. Не нарушайте последовательность включения и выключения лазера.

3. Не понижайте температуру лазерного диода ниже точки росы, это может привести к деградации лазерного диода. Температура лазерного диода может быть оценена из ТКС (температурный коэффициент сопротивления) термистора:

$$\text{ТКС} = - 4 \text{ \%}/^{\circ}\text{C} .$$

4. Используйте оптический изолятор для устранения паразитных отражений обратно в лазер.

5. Следуйте **золотому правилу**: ECDL как часть экспериментальной установки должен включаться последним и выключаться первым.

Спецификация.

1. Длина волны	670.8 нм
2. Выходная мощность @ 35 mA	10 мВт
3. Диапазон непрерывной перестройки by PZT only by PZT+LD current	7 ГГц >35 ГГц
4. Диапазон грубой перестройки	± 2 нм
5. Поляризация	линейная вертикальная
6. Пучок	эллиптический 5×1.5 мм ²
7. Пороговый ток	26 мА
8. Рабочий ток	35 мА
9. Величина термосопротивления	12.2 кОм
10. Размеры оптической головки	56×50×33 мм ³
11. Вес оптической головки	150 г
12. Размеры блока управления	260×210×70 мм ³
13. Вес блока управления	2.5 кг