

Техническое описание и руководство по эксплуатации диодного лазера с внешним резонатором ECDL-6705R (S/N 080980)

Диодный лазер с внешним резонатором ECDL-6705R является источником перестраиваемого высококогерентного излучения в видимой области оптического спектра. Центральная длина волны рабочего диапазона равна 669 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-6705R 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 140 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 15 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.7), 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 (1800 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.

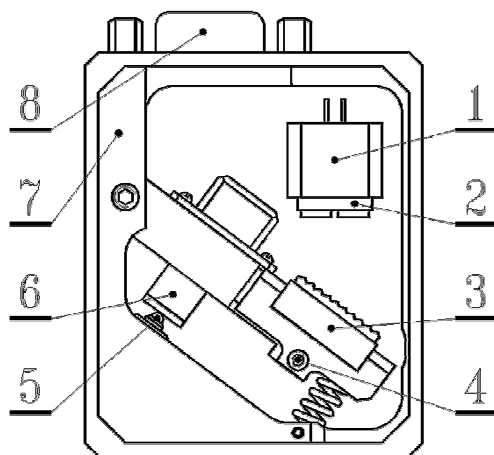


Рис.1. Оптическая головка (вид сверху при снятой крышке). 1 – хладопровод лазерного диода; 2- единый модуль лазерного диода и коллимирующего объектива; 3- дифракционная решетка, укрепленная на горизонтальном валу; 4 – вертикальный фиксирующий винт M2; 5 – горизонтальный юстировочный винт M3x0,25; 6 – пьезоэлемент; 7 – корпус оптической головки; 8 – 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-6705R 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 означат неправильной юстировки коллиматора ECDL.

Блок управления.

Блок управления (ULDC101 – 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-6705R. Аналоговый блок питания обеспечивает все напряжения, требуемые для работы электронных узлов: стабилизированные $\pm 15\text{В}$, $+150\text{В}$, $\pm 5\text{В}$ 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 160 мА (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, зажигается при достижении уровня ограничения тока. Максимальное значение тока для ULDC101 составляет 100 мА. Полный размах сканирования тока составляет четверть от максимального значения тока (около 25 мА).

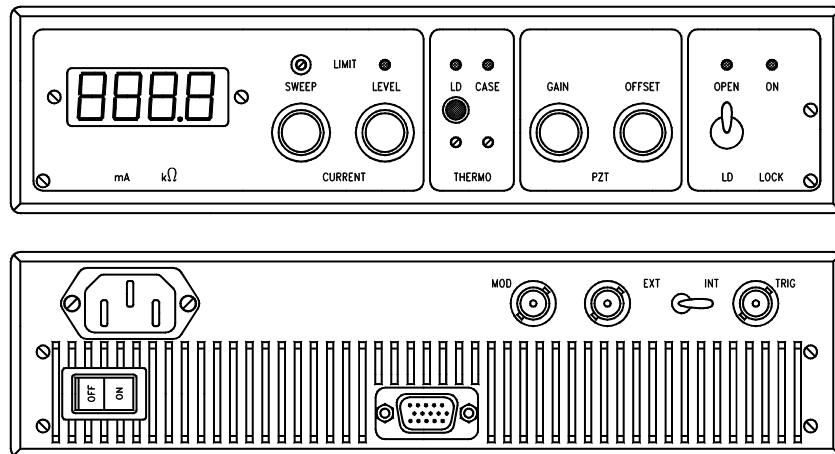


Рис.2. Вид спереди и сзади на блок управления.

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. 12,5 Гц для Европы и 15 Гц для США) предустановлена в ECDL-6705R. 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 сигналов 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 (GAIN) 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 (120В) диапазон выходного напряжения высоковольтного усилителя. Максимальная перестройка длины резонатора лазера достигается при среднем положении рукоятки OFFSET и полностью введенной рукоятке GAIN.

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 ULDC101 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-6705R 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 ULDC101 установлены сетевой выключатель и разъем подключения к блоку управления оптической головки (DHR-15M).

Подготовка к работе ECDL-6705R.

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 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-6705R.

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-6705R.

Механическая стабильность ECDL-6705R 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-6705R и могут служить в качестве образцовых при его юстировке.

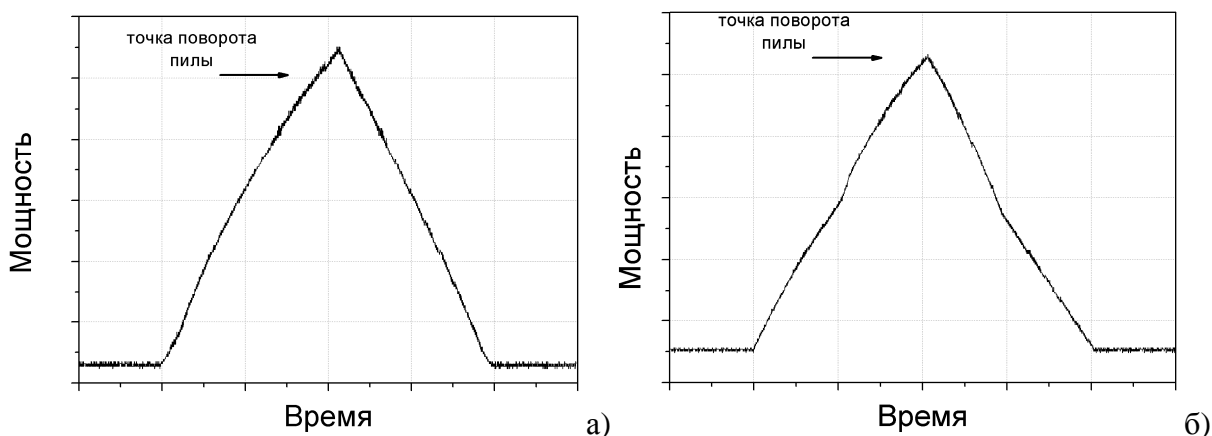


Рис. 3. Зависимости выходной мощности лазера от тока инжекции. Ток лазерного диода модулируется симметричным треугольным сигналом. Напряжение на пьезоэлементе постоянно, но отличается для случаев а) и б).

На рисунке 3 показаны осциллограммы, соответствующие ватт-амперным характеристикам ECDL-6705R, т.е. зависимостям выходной мощности лазера от тока инжекции. 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. Практически горизонтальные участки в основании осциллограмм соответствуют допороговому режиму лазера. С появлением генерации выходная мощность монотонно нарастает с ростом тока. Практически незаметные на этих зависимостях скачки внутри линейных участков соответствуют перескокам мод внешнего резонатора. Данные зависимости сняты при постоянном напряжении на пьезоэлементе (рукоятка GAIN установлена в крайнее левое положение). Условия, при которых снята осциллограмма 3а, отличаются от условий осциллограммы 3б разными значениями напряжения на пьезоэлементе, которое выбрано для случая 3б таким, чтобы был виден перескок, связанный с наличием собственных мод лазерного диода.

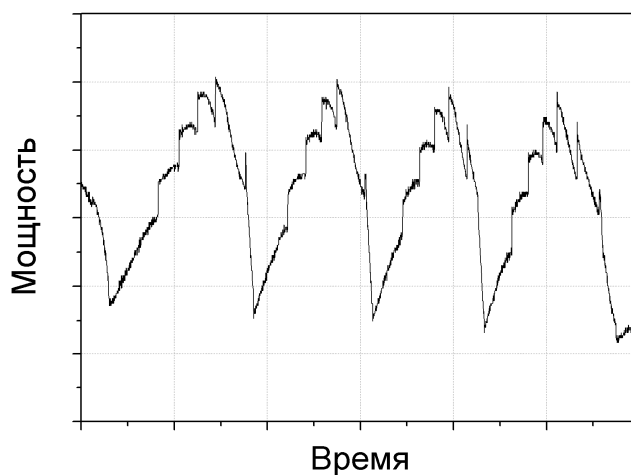


Рис. 4. Зависимость выходной мощности лазера от напряжения на пьезоэлементе. Напряжение меняется линейно со временем (показан только один склон модулирующего сигнала). Ток лазерного диода не меняется.

Следующая осциллограмма (Рис.4) снята при постоянном токе лазерного диода и линейно изменяющемся со временем напряжении на пьезоэлементе. Осциллограмма соответствует только одному склону модулирующего сигнала. Выходная мощность ECDL-6705R меняется при сканировании длины внешнего резонатора на несколько процентов, поэтому нулевой уровень мощности находится далеко внизу за пределами экрана. На записанной кривой хорошо видны мелкие скачки, связанные с перескоками мод внешнего резонатора, между которыми выходная частота изменяется незначительно (на несколько ГГц). Крупные колоколообразные структуры связаны с наличием собственных мод лазерного диода. Перескоки по ним сопровождаются значительным изменением длины волны ($\sim 1,5 \text{ \AA}$), соответствующим интервалу между собственными модами лазерного диода, влияние которых трудно подавить даже при наличии просветляющего покрытия на передней грани лазерного диода.

Для измерения зависимости длины волны излучения от напряжения на пьезоэлементе использовался лямбдаметр LM-005, изготовленный в институте Общей физики РАН. Результаты измерений приведены на рисунке 5. Поскольку для проведения измерения длины волны требуется значительное время (одно измерение занимает 370 мс), то напряжением на пьезоэлементе управлял внешний генератор с частотой сканирования в тысячные герца.

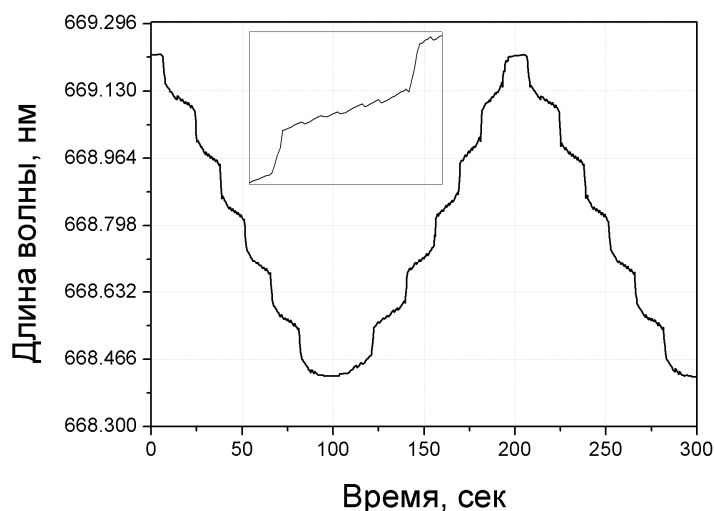


Рис. 5. Зависимость длины волны генерации ECDL-6705R от напряжения на пьезоэлементе. Мелкие скачки (показаны на врезке) соответствуют переключениям мод внешнего резонатора, крупные — переключениям мод лазерного диода.

Крупные ступеньки на зависимости Рис.5 соответствуют переключениям длины волны между собственными модами лазерного диода. Эти участки соответствуют колоколо-образным структурам на Рис.4. Внутри каждой ступеньки (показано на врезке) наблюдаются мелкие переключения по модам внешнего резонатора (соответствуют мелким скачкам внутри колоколо-образных структур на Рис.4).

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-6705R.

На рисунке 6 показан сигнал на фотоприемнике при одновременном сканировании тока лазерного диода и напряжения на пьезоэлементе. Между оптическим выходом лазерной головки и фотоприемником помещен эталон Фабри-Перо (кварцевая плоскопараллельная пластина с зеркалами на ее плоскостях). Таким образом, лазер,

перестраиваемый по частоте, прописывает продольные моды эталона. Расстояние между пиками зависит от толщины пластины и составляет в нашем случае 13,5 ГГц, а их ширина определяется резкостью эталона (коэффициентом отражения зеркал, углом между плоскостями эталона).

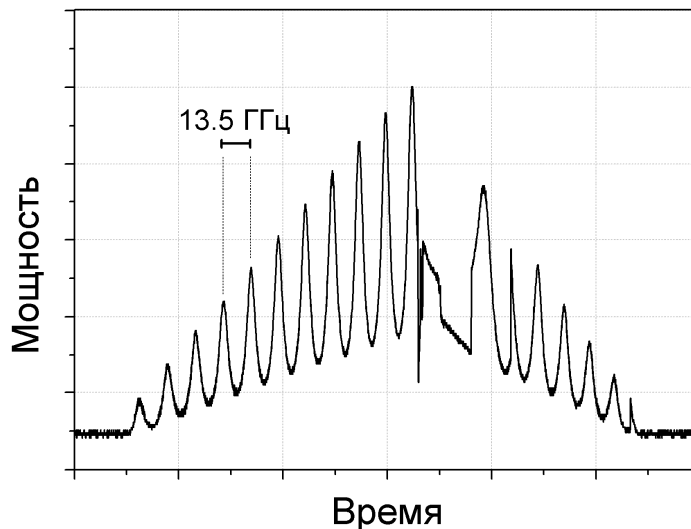


Рис. 6. Пропускание эталона Фабри-Перо при одновременном сканировании тока лазерного диода и напряжения на пьезоэлементе. Область свободной дисперсии эталона составляет 13,5 ГГц.

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-6705R диапазон непрерывной перестройки составляет порядка 140 ГГц ($\sim 2 \text{ \AA}$ на длине волны 669 нм). Для получения максимального диапазона непрерывной перестройки частоты выходного излучения 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 погашен).
- 3) Ввести рукоятку GAIN до уровня при котором все скачки в мощности лазера сливаются в одну сплошную прямую.

Следует отметить, что из-за определенной задержки пьезоэлемента в отклике на управляющий сигнал по отношению к току (степень задержки зависит от частоты 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 (хорошо видно на Рис.6).

Юстировка ECDL-6705R.

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 всего на несколько градусов достаточно для восстановления режимов работы ECDL-6705R.

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 ULDC101.

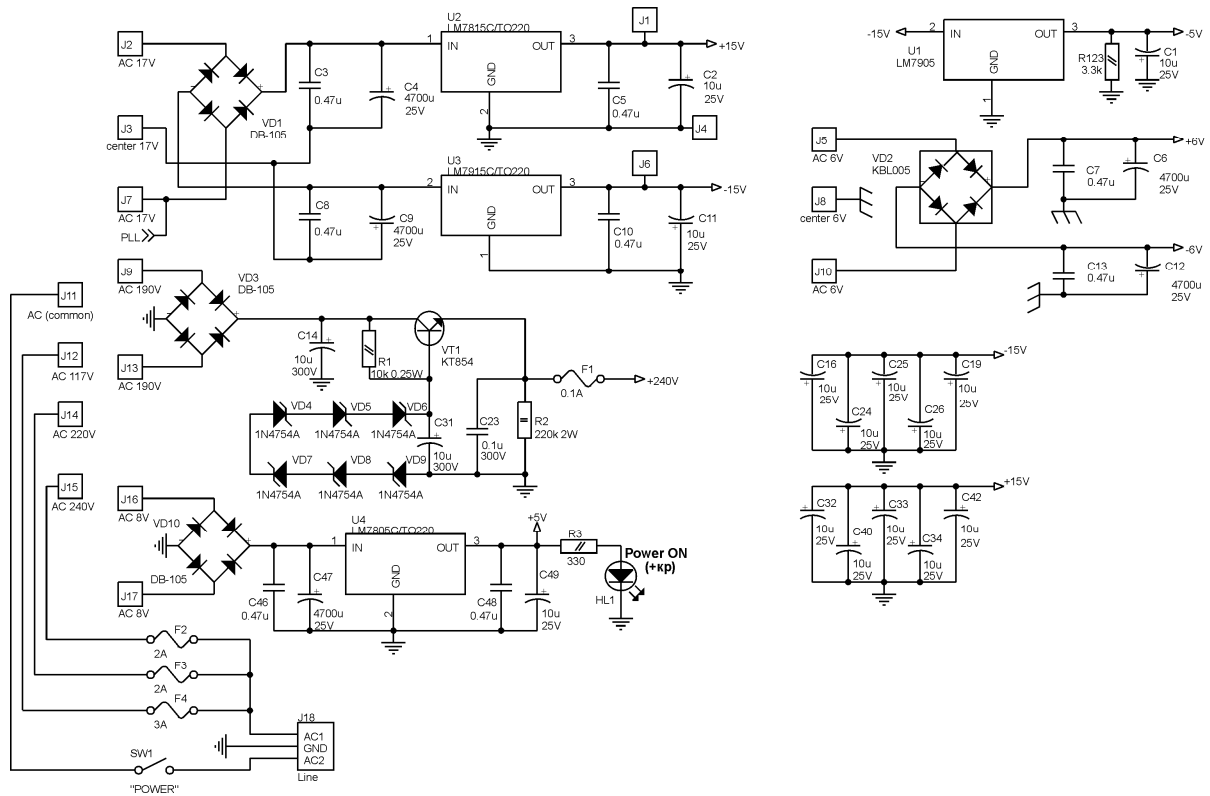


Рис.7. Схема блока питания.

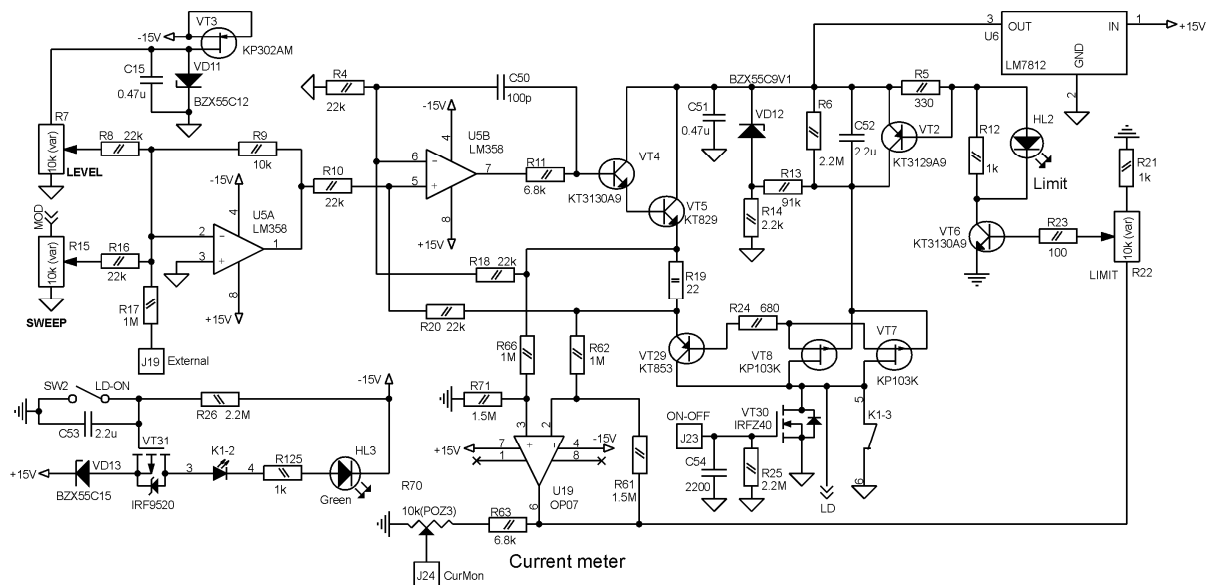


Рис.8. Схема источника тока.

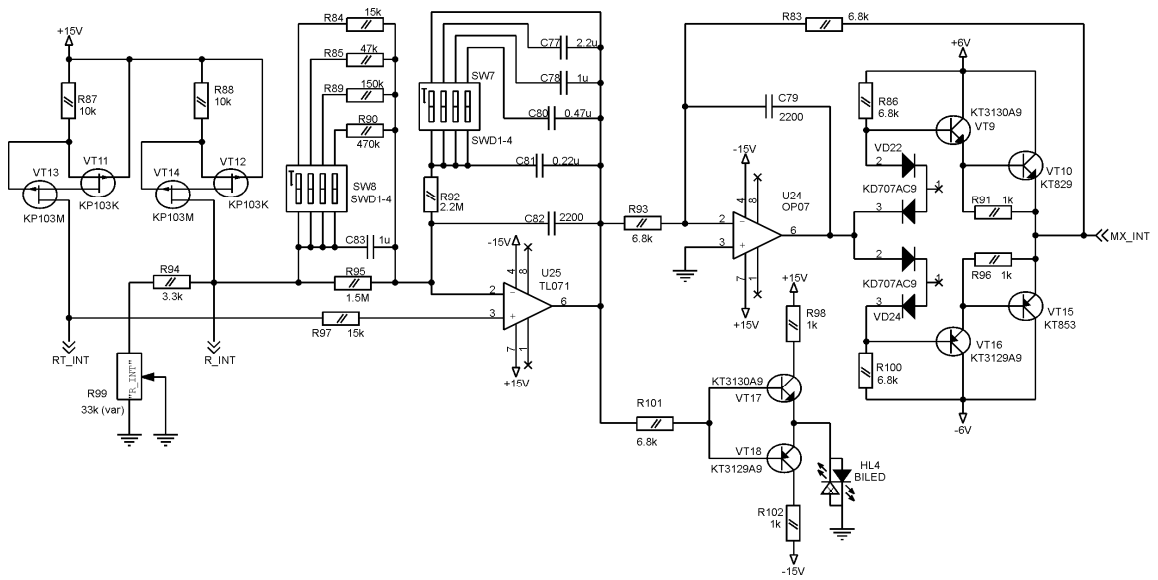


Рис.9. Схема контроллера температуры лазерного диода.

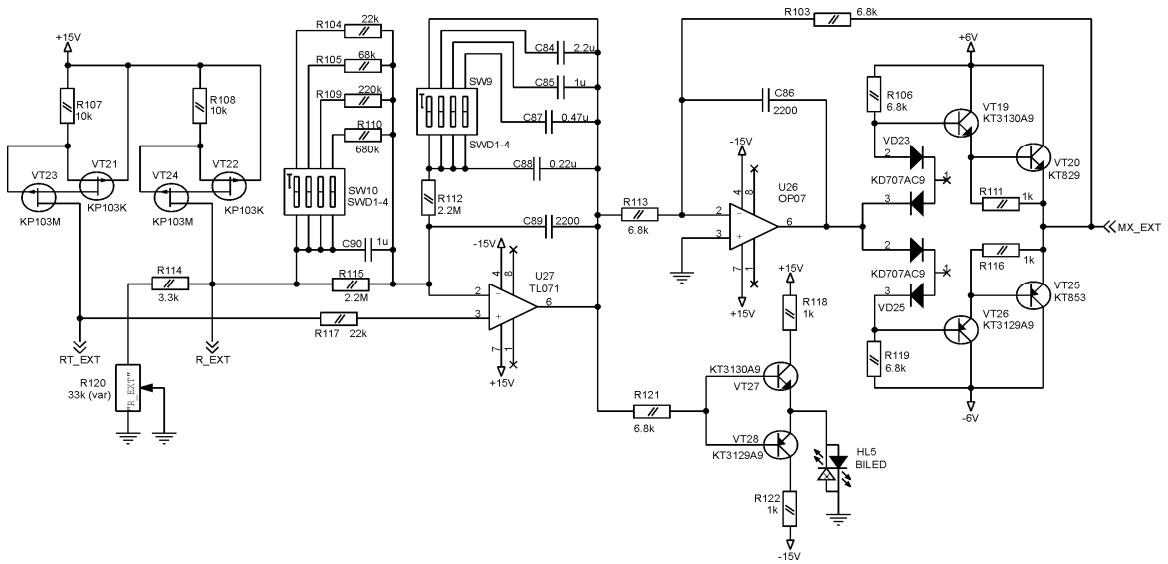


Рис.10. Схема контроллера температуры корпуса оптической головки.

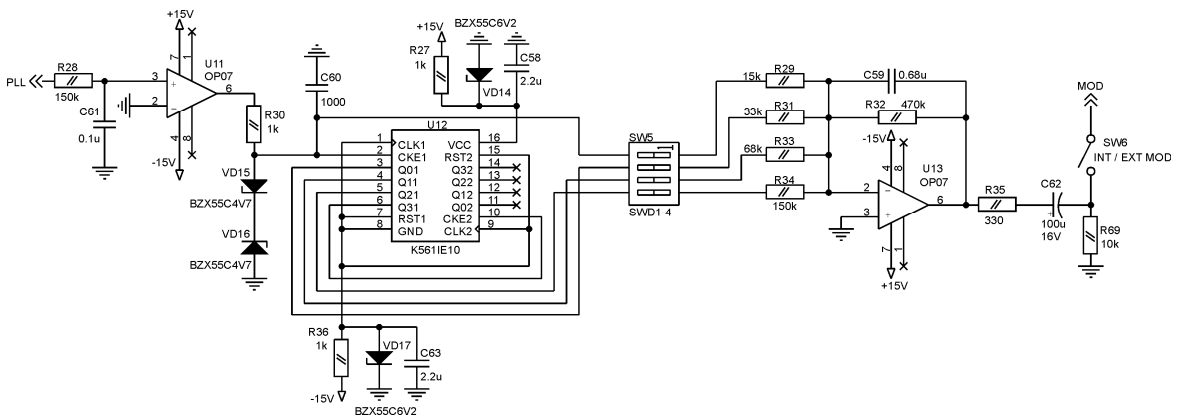


Рис.11. Схема генератора треугольного сигнала.

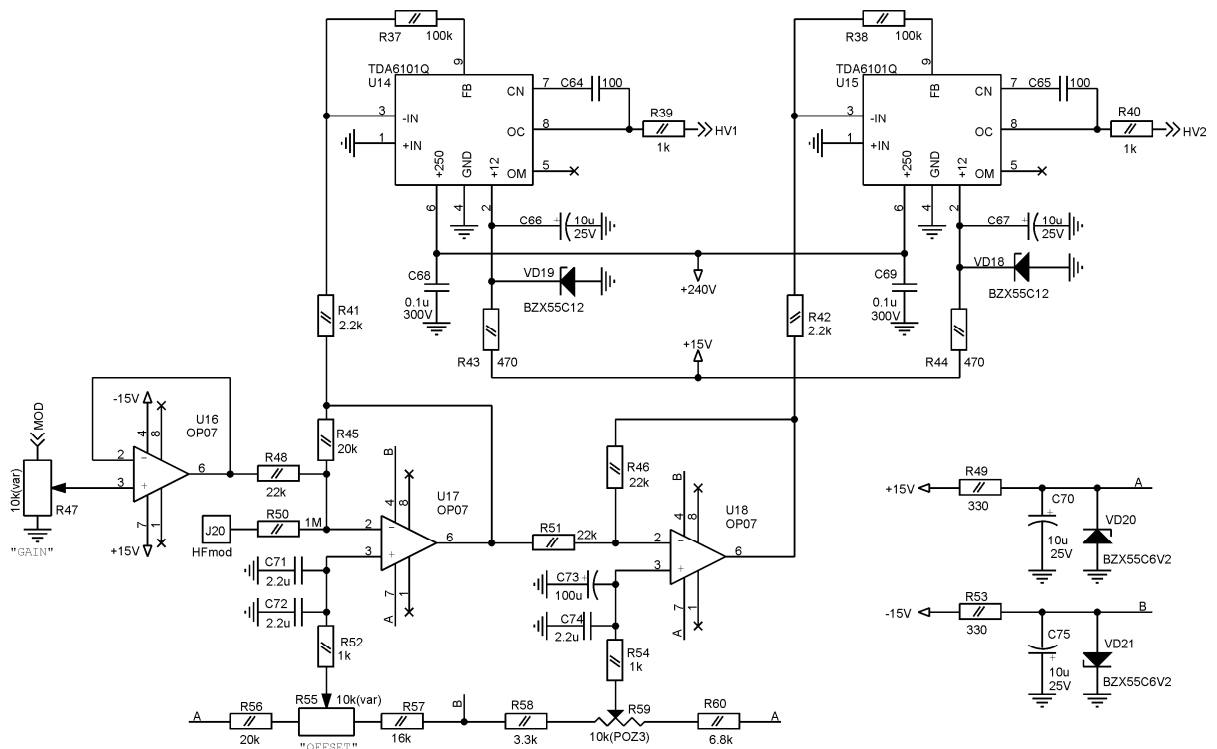


Рис.12. Схема высоковольтного усилителя.

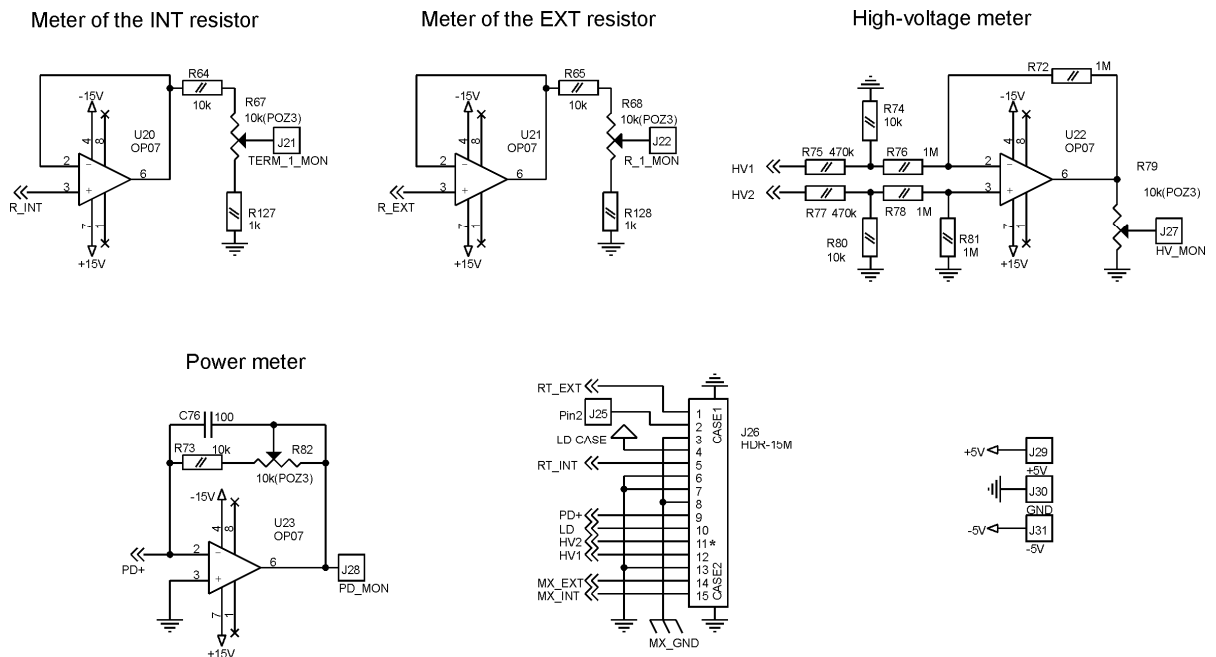


Рис.13. Схема измерителей и назначение выводов разъема DHS-15M.

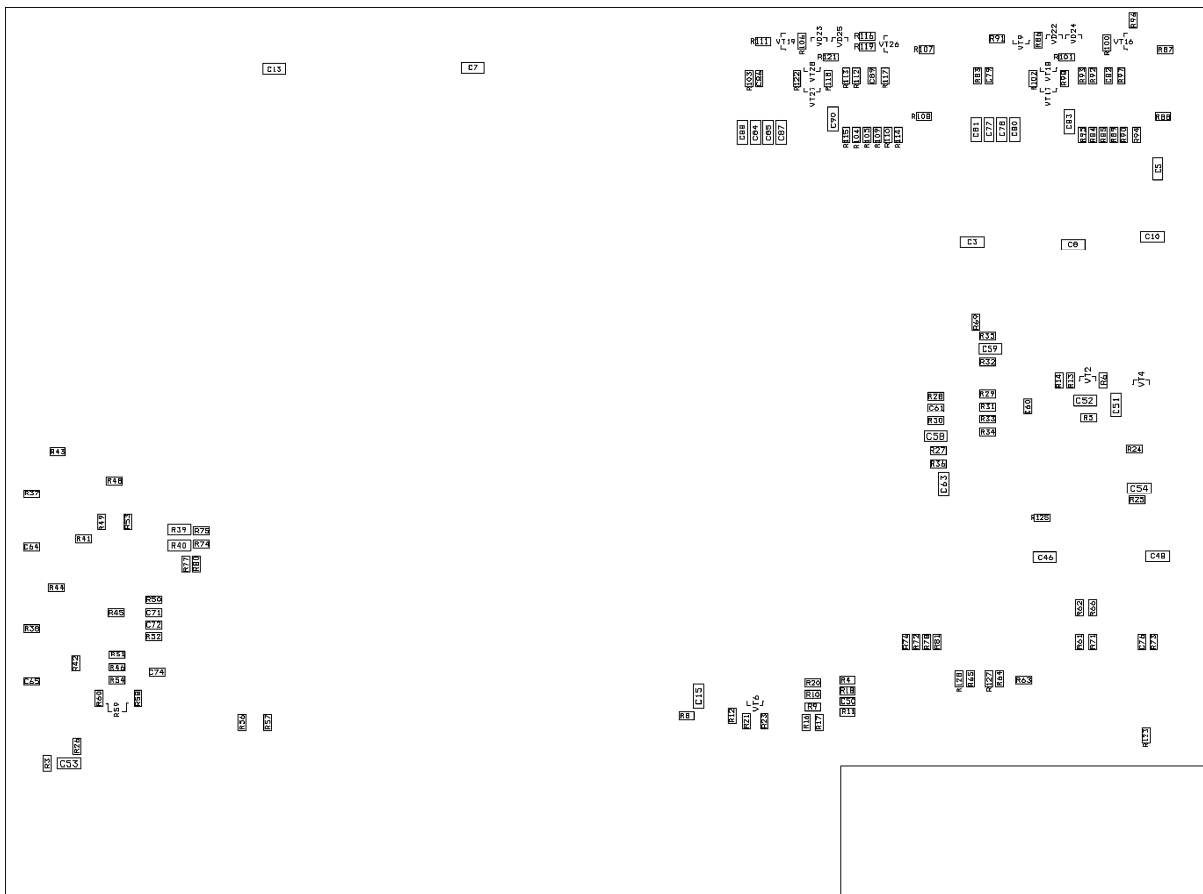
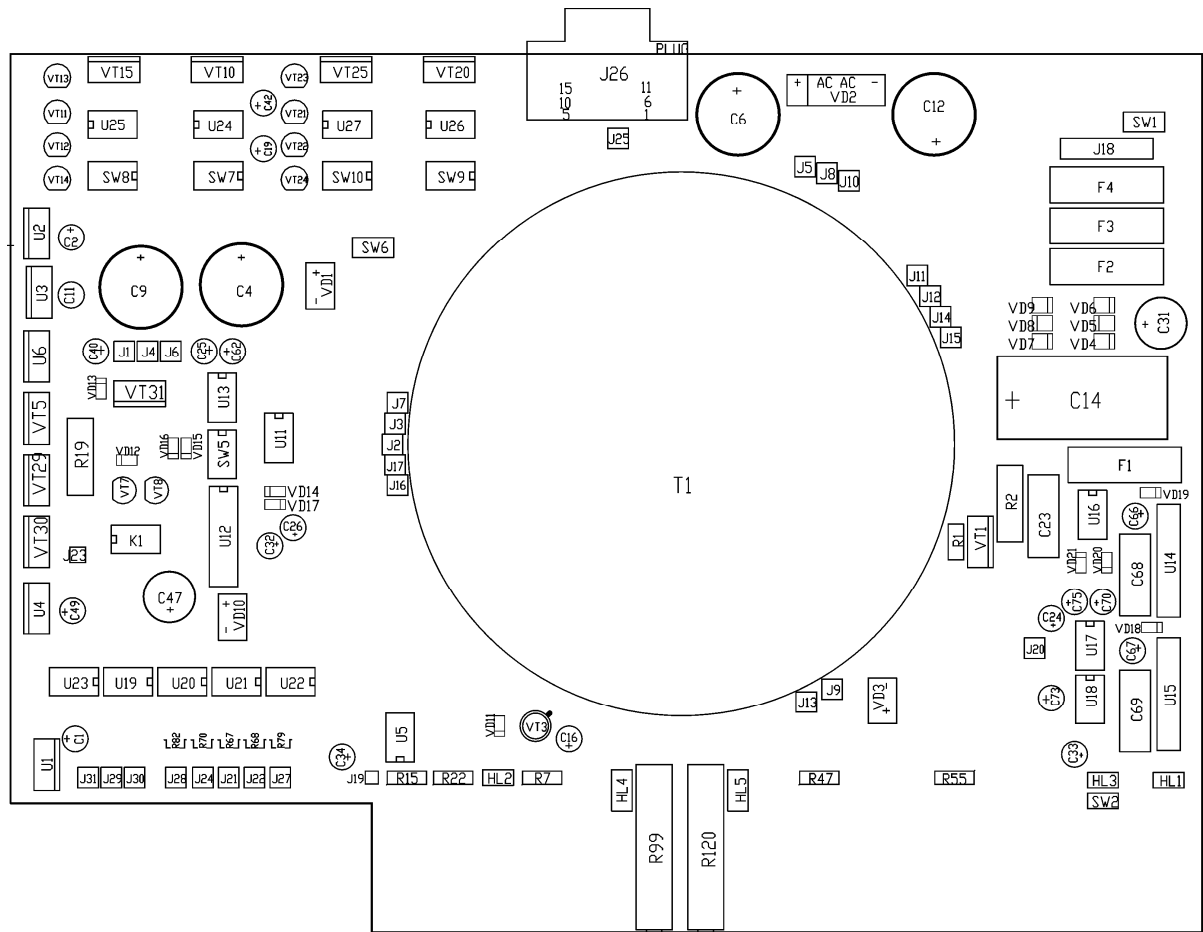


Рис.14. Монтажные схемы ULDC101.

Общие рекомендации по эксплуатации ECDL-6705R.

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	668.8 нм
2. Выходная мощность @ 28 mA	8 мВт
3. Диапазон непрерывной перестройки by PZT only by PZT+LD current	7 ГГц >100 ГГц
4. Диапазон грубой перестройки	± 2 нм
5. Поляризация	линейная вертикальная
6. Пучок	эллиптический $5 \times 1.5 \text{ мм}^2$
7. Пороговый ток	16 мА
8. Рабочий ток	28 мА
9. Величина термосопротивления	11,5 кОм
10. Размеры оптической головки	$65 \times 50 \times 35 \text{ мм}^3$
11. Вес оптической головки	170 г
12. Размеры блока управления	$260 \times 210 \times 70 \text{ мм}^3$
13. Вес блока управления	2.8 кг