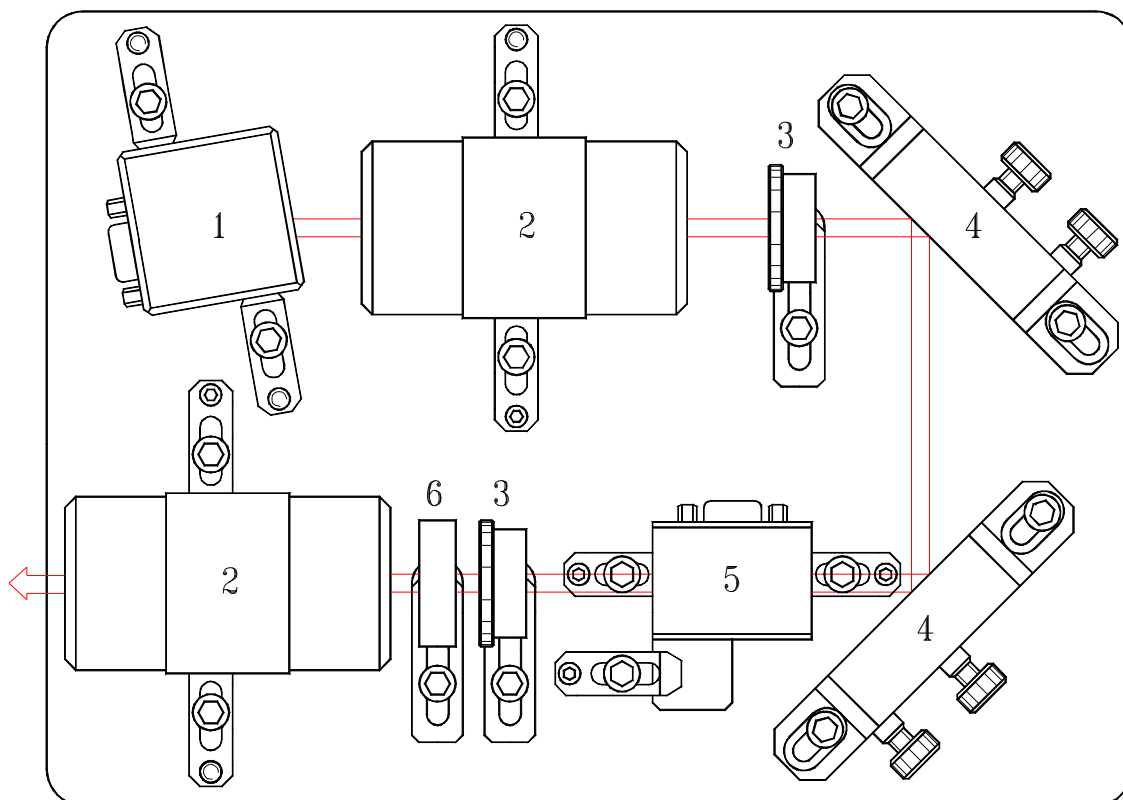


# Техническое описание и руководство по эксплуатации лазерной системы MOPA-671-500 (S/N 061947)

Лазерная система типа MOPA-671-500 предназначена для генерации перестраиваемого высококогерентного излучения мощностью до 500 мВт в видимой области оптического спектра. Центральная длина волны рабочего диапазона системы равна 671 нм. При этом возможна ее отстройка на 2 нм, как в коротковолновую, так и в длинноволновую сторону. Лазерная система может использоваться в метрологии, спектроскопии, интерферометрии, лазерном охлаждении.



**Рис. 1. Оптическая схема системы MOPA-671-500.** 1 – ECDL-6725R; 2 – оптические развязки; 3 – полуволновые пластинки; 4 – юстировочные оправы; 5 – усилитель оптической мощности; 6 – цилиндрическая линза.

Общая оптическая схема системы приведена на рисунке 1. Основными компонентами системы являются задающий лазер (Master Oscillator) типа ECDL-6725R и усилитель оптической мощности (Power Amplifier) типа TPA-0670-00500-2003-CMT02-0000 (S/N CC-04238). Оптические развязки используются для взаимной изоляции элементов системы и системы в целом от внешнего паразитного излучения. Волновые пластинки позволяют согласовать поляризации лазера и усилителя и обеспечить

максимальную выходную мощность системы. Цилиндрическая линза на выходе системы используется для компенсации астигматизма оптического усилителя.

### Задающий лазер

ECDL-6725R состоит из оптической головки и электронного блока управления ULDC2807D. Оптическая головка соединяется с блоком управления кабелем VGA типа. Стандартная длина кабеля составляет 1,8м. Блок питания 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 70 В. При снятой крышке возможен доступ к его контактам.

### Оптическая головка

В состав оптической головки (Рис.2) входят:

хладопровод (поз.2) с установленным в нем единым модулем (поз.3) просветленного лазерного диода (RWE-0670-00703-1000-SOT02-0000, S/N AG-10975) и коллимирующего объектива ( $N_A = 0.55$ ;  $f = 4.51$  мм; выходная апертура – 4.9 мм);

термоэлектрический микрохолодильник (элемент Пельтье);

термодатчик (термистор 10 кОм), установленный в корпусе оптической головки вблизи хладопровода;

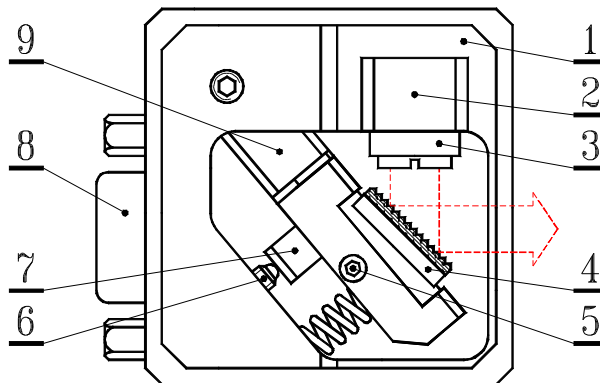
дифракционная решетка (поз.4), укрепленная на подвижном рычаге (поз.9);

пьезоэлемент (поз.7), приводящий рычаг в движение.

Корпус лазера (поз.1) служит в качестве каркаса для всех оптических и механических компонентов ECDL. Чтобы одновременно обеспечить хороший тепловой контакт и надежную электрическую изоляцию лазерного диода по отношению к корпусу лазера, его хладопровод крепится теплопроводящим клеем через сапфировую подложку. Пластиковая крышка ECDL защищает оптический резонатор от пыли, тепловых и акустических возмущений. Основание оптической головки имеет с боков продольные пазы для ее установки на оптический стол.

Оптический резонатор перестраиваемого лазера формируется задней гранью лазерного диода, имеющей высокий коэффициент отражения (90-95%), и дифракционной решеткой ( $2400 \text{ мм}^{-1}$ ), установленной в схеме Литтрова. Решетка укреплена на горизонтальном валу, положение которого и определяет требуемое направление дифракции лазерного пучка. Пьезоэлемент, 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.6) обеспечивает грубую перестройку лазерной длины волны.



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

Точное пространственное согласование падающей на решетку и дифрагированной волн критически важно для получения высокой когерентности и значительной мощности в выходном излучении лазера. ECDL-6725R 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.5) закручивается или выкручивается соответственно. Слегка асимметричный захват цанги приводит к проворачиванию горизонтального вала при закручивании винта 5 (Рис.2). 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 шлицевым ключом из ремонтного комплекта

(Рис.9). Для установки данного ключа в торце горизонтального вала имеется шлицевой паз с резьбовым отверстием. При отпущенном фиксирующем винте 5 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 LD. Поэтому иногда наиболее эффективная оптическая обратная связь достигается при слегка сходящемся пучке, т.е. незначительная сходимость ( $\sim 2 \times 10^{-3}$ ) лазерного пучка не означает неправильной юстировки коллиматора ECDL.

### **Блок управления (S/N 071833)**

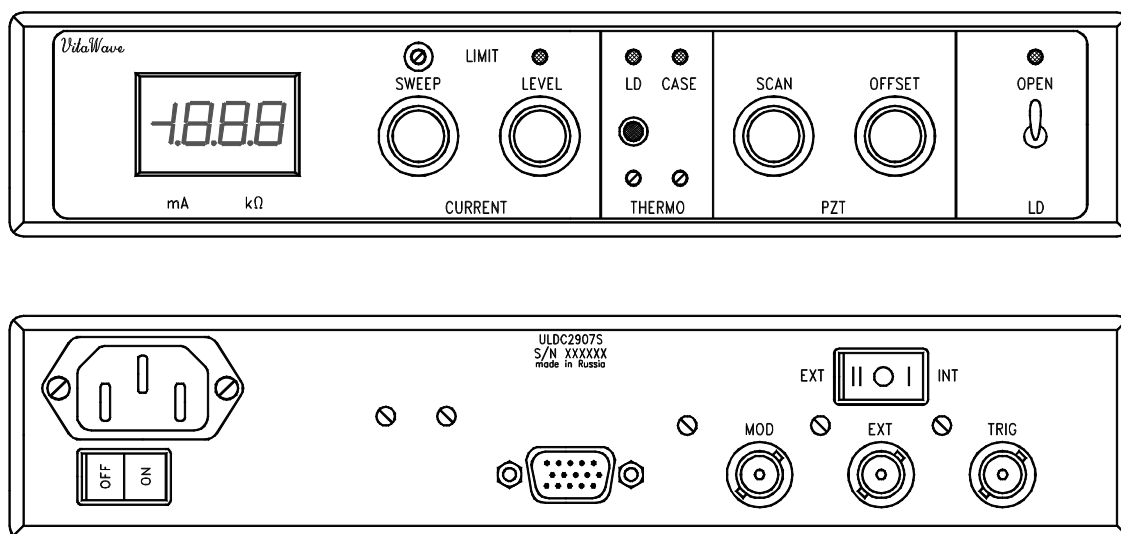
Блок управления (ULDC2807 – a Universal Laser Diode Controller) устанавливает ток лазерного диода, температуру корпуса лазера и длину внешней части лазерного резонатора с точностью, достаточной для достижения требуемых характеристик ECDL-6725R. В качестве опции ULDC2807 может иметь два независимых контроллера температуры (LD и CASE для модели ULDC2807D). Поскольку в оптической головке ECDL-6725R используется только один контур термостабилизации (LD), то второй (CASE) деактивирован изъятием микросхемы U18 из соответствующей DIP панельки.

Аналоговый блок питания обеспечивает все напряжения, требуемые для работы электронных узлов: стабилизированные  $\pm 15V$ ,  $+70V$ ,  $\pm 5V$  и нестабилизированные  $\pm 6V$ . Под крышкой блока управления рядом с сетевым разъемом расположены гнезда для плавких сетевых предохранителей. Одно гнездо соответствует переменному напряжению силовой сети 240В, другое – напряжению 220В, третье – напряжению 117В. **Единственный предохранитель номиналом 1А должен быть установлен в соответствующее гнездо!** Дополнительный предохранитель в 100 мА (F1 на рисунках 10 и 16) защищает выход высоковольтного блока питания от случайного замыкания. Для того чтобы снять крышку блока управления, следует выкрутить четыре винта с его верхней 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.3).

В зоне CURRENT расположены цифровой индикатор, рукоятки установки уровня тока лазерного диода (LEVEL), амплитуды сканирования тока (SWEEP) и уровня ограничения тока (LIMIT). Белый светодиод, расположенный над рукояткой LEVEL,

зажигается при достижении уровня ограничения тока. Максимальное значение тока для ULDC2807D составляет около 190 мА. Полный размах сканирования тока составляет четверть от максимального значения тока (~45 мА).



**Рис.3. Вид спереди и сзади на блок управления ULDC2807D.**

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, в ECDL-6725R предустановлена частота  $f/2$  (т.е. 25 Гц для Европы и 30 Гц для США). 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 или 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 нажатии на нее дисплей показывает значение данного 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 может использоваться практически полный размах выходного напряжения (60 В) 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  $\pm 15$  В.

На задней панели ULDC2807S установлены:

сетевой разъем с выключателем,

разъем подключения оптической головки к блоку управления (DHR-15M),

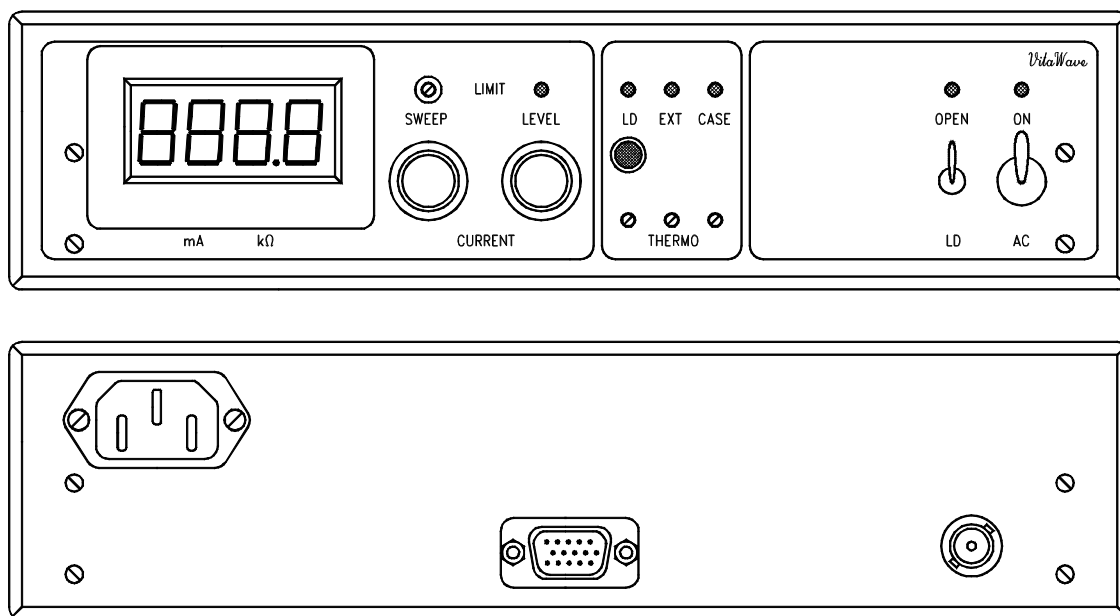
входной разъем для высокочастотной (до 50 кГц) модуляции тока (MOD),  
входной разъем внешнего управляющего сигнала (EXT),  
переключатель управляющих сигналов (EXT-INT) и  
выходной разъем синхронизации (TRIG).

В положении INT переключателя управляющих сигналов на разъем TRIG подается треугольный сигнал размахом 8 В с выхода встроенного генератора, который может быть использован для синхронизации внешних устройств. Для того чтобы контролировать выходные параметры ECDL-6725R 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 20 раз меньше, чем по входу EXT.

#### **Блок управления оптическим усилителем (S/N 061947)**

Блок управления оптическим усилителем ULDC1190D обеспечивает поддержание постоянной температуры чипа усилителя и тока его накачки до 1А. Алгоритм работы ULDC1190D и дизайн его панелей подобны с блоками ULDC2807D. Внешний вид блока управления оптическим усилителем показан на рисунке 4. В данном блоке управления активирован только один контур термостабилизации (LD), второй деактивирован изъятием микросхемы U18 из соответствующей DIP панельки.



**Рис. 4. Вид спереди и сзади на блок управления оптическим усилителем.**

На задней панели блока управления оптическим усилителем установлен только один разъем BNC типа, и его функция соответствует функции разъема TRIG блока управления ECDL-6725R. Переключатель управляющих сигналов присутствует в ULDC1190D только на монтажной плате в виде перемычки SW4 (Рис.16).

### **Подготовка к работе ECDL-6725R**

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 блока питания, 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-6725R**

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 питания сетевым тумблером.

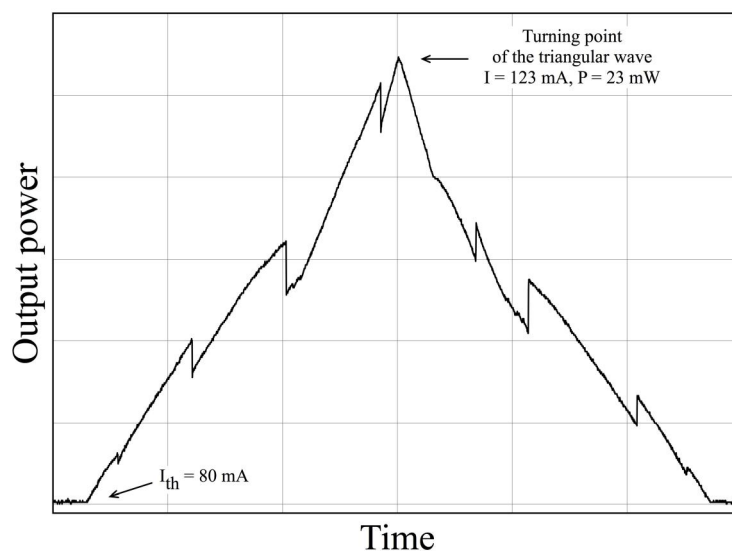
### **Перестройка частоты ECDL-6725R**

Механическая стабильность ECDL-6725R 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-6725R и могут служить в качестве образцовых при его юстировке.

На рисунке 5 показана ватт-амперная характеристика (WtAX) ECDL-6725R, т.е. зависимость выходной мощности лазера от тока инжекции. При вращении

дифракционной 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-амперной характеристики, благодаря чему она служит удобным инструментом для выбора оптимального режима работы ECDL.



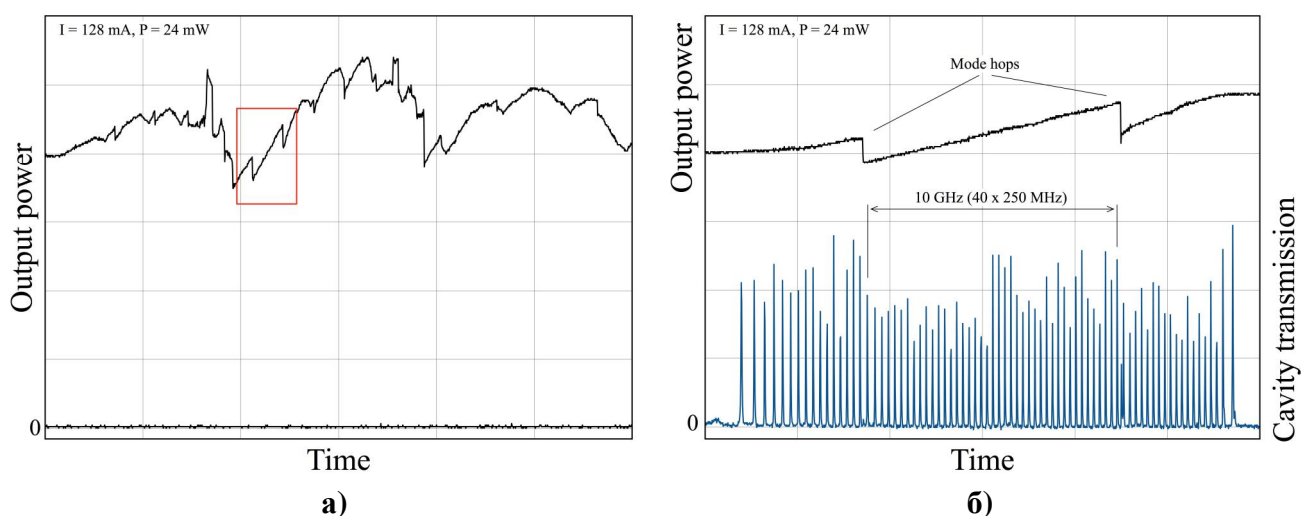
**Рис.5. Зависимость выходной мощности лазера от тока инжекции.** Ток лазерного диода модулируется симметричным треугольным сигналом. Зависимость снята при постоянном напряжении на пьезоэлементе.

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 осциллограммы 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 скачки на ВтАХ обусловлены перескоками по модам внешнего резонатора лазера.

Как правило, юстировку лазерного пучка вдоль активной области ЛД (регулировка вертикальным фиксирующим винтом – поз.5 Рис.2) можно считать оптимальной при достижении минимального значения порогового тока. Однако при использовании лазерного диода Eagleyard Photonics S/N AG-10975 минимальный порог соответствует возбуждению  $TEM_{01}$  моды. Поэтому, получив минимальный порог генерации, следует отстроиться от него вертикальным винтом (поз.5 Рис.2) до

получения единственного максимума в выходном излучении. При этом пороговый ток может вырасти на величину более 10 мА.

Если ВtАХ записана при постоянном напряжении на пьезоэлементе (рукоятка SCAN установлена в крайнее левое положение), то следующие осциллограммы (Рис.6) зарегистрированы при постоянном токе лазерного диода и линейно изменяющемся со временем напряжении на пьезоэлементе. Амплитуда сканирования пьезоэлемента выбрана максимальной для Рис.6а и уменьшена до области, отмеченной на Рис.6а красным прямоугольником, для Рис.6б. Осциллограммы соответствуют только одному склону модулирующего сигнала.



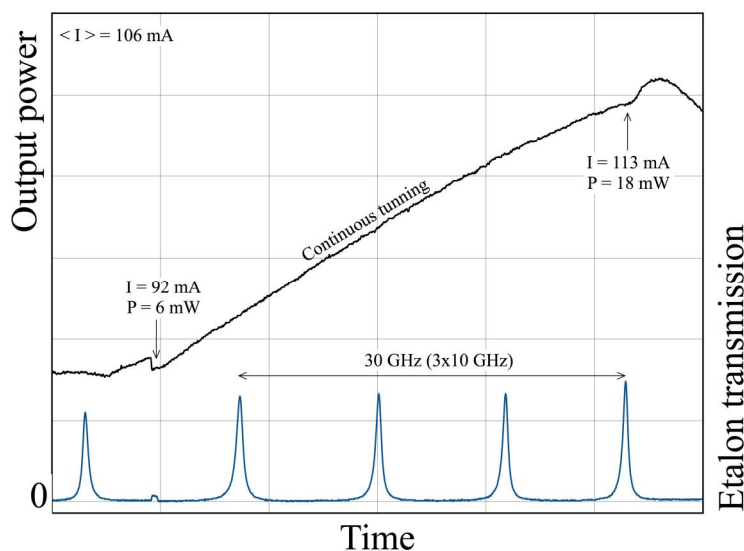
**Рис. 6. Зависимость выходной мощности лазера от напряжения на пьезоэлементе (верхняя кривая) при постоянном токе LD. Внизу (синяя кривая) – пропускание конфокального интерферометра Фабри-Перо с областью свободной дисперсии 250 МГц. Флуктуации амплитуды резонансов связаны с оцифровкой сигнала.**

На верхних кривых, отражающих выходную мощность лазера, хорошо видны скачки, связанные с перескоками мод внешнего резонатора, а также наблюдается волнообразное изменение мощности, связанное с последовательным прохождением контура селективности дифракционной решетки относительно собственных мод лазерного диода (три «волны» на Рис.6а). Интервалы непрерывной перестройки частоты лазера, разделенные перескоками мод, составляют несколько ГГц и соответствуют области свободной дисперсии ECDL. Нижняя осциллограмма на Рис.6б показывает пропускание конфокального интерферометра, который позволяет измерить диапазон перестройки частоты лазера и оценить спектральное качество лазерного излучения. Данный интерферометр имеет область свободной дисперсии 250 МГц.

Приведенные осциллограммы демонстрируют хороший контраст мод в диапазоне сканирования, превышающем область свободной дисперсии ECDL. Однако допускается, что при иных значениях тока или напряжения на пьезокерамике вблизи области перескока

мод спектральное качество выходного излучения может ухудшаться вследствие конкуренции мод, приводящей к избыточному амплитудному шуму в мощности и снижению контраста пиков пропускания интерферометра.

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. На рисунке 7 показан пример такого согласованного сканирования длины внешнего резонатора и тока инжекции LD. Для оценки диапазона перестройки лазерной частоты использовался кварцевый эталон Фабри-Перо с областью свободной дисперсии 10 ГГц. Его пропускание при сканировании лазера отражает нижняя осциллограмма на рисунке 7.



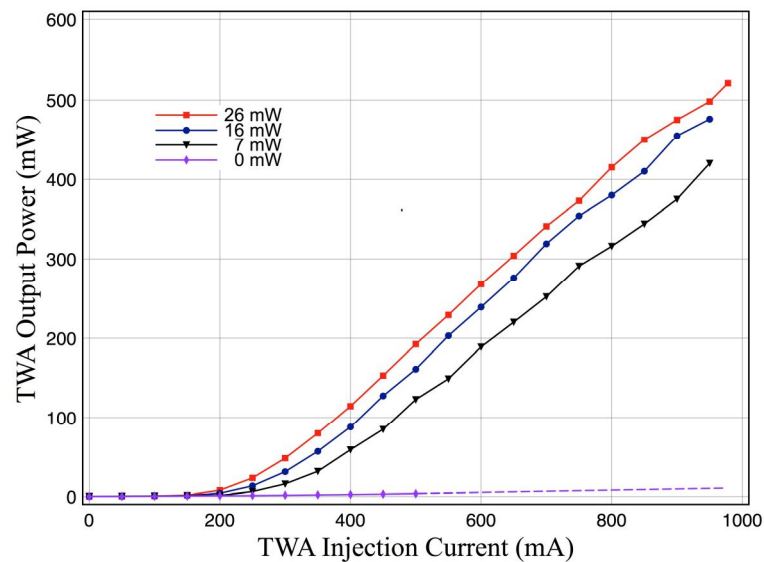
**Рис.7. Зависимость мощности ECDL-6725R (верхняя кривая) и пропускание эталона Фабри-Перо (нижняя кривая) при синхронном сканировании пьезоэлемента и тока накачки.**

Для получения максимального диапазона непрерывной перестройки частоты лазера последовательность действий такова:

- 1) установить рукояткой SCAN амплитуду сканирования пьезокерамики в четверть от максимума;
- 2) установить рукоятку OFFSET в среднее положение;
- 3) рукоятку SWEEP ввести до уровня, при котором достигается максимальная длина непрерывного участка в выходной мощности лазера. При этом может потребоваться небольшая подстройка тока LD рукояткой LEVEL.

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) поведение лазера на разных склонах управляющего сигнала может отличаться.

### **Выходные характеристики оптического усилителя в составе лазерной системы МОРА-671-500**



**Рис.8. Зависимость выходной мощности оптического усилителя от тока накачки при различных уровнях впрыска.**

### **Юстировка ECDL-6725R.**

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

- 1) Вставить П-образный ключ из ремонтного комплекта (Рис.9) в шлицевой паз горизонтальной оси дифракционной решетки.



**Рис.9. П-образный шлицевой ключ из ремонтного комплекта.**

2) Определить направление, в котором движение П-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.2, поз.5) по часовой стрелке. В противоположном случае фиксирующий винт следует слегка ослабить. Для вращения фиксирующего винта используется усиленный шестигранный (имбусовый) ключ 1.5 из ремкомплекта. Как правило, вращения на несколько градусов достаточно для восстановления режимов работы ECDL-6725R.

4) После достижения оптимума порога генерации установить, если требуется, необходимую длину волны горизонтальным юстировочным винтом (Рис.2, поз.6), доступ к которому возможен и при закрытой крышке оптической головки. Для вращения горизонтального юстировочного винта используется стандартный шестигранный ключ 1.5 из ремкомплекта.

## Приложение. Принципиальные и монтажные схемы ULDC2807D.

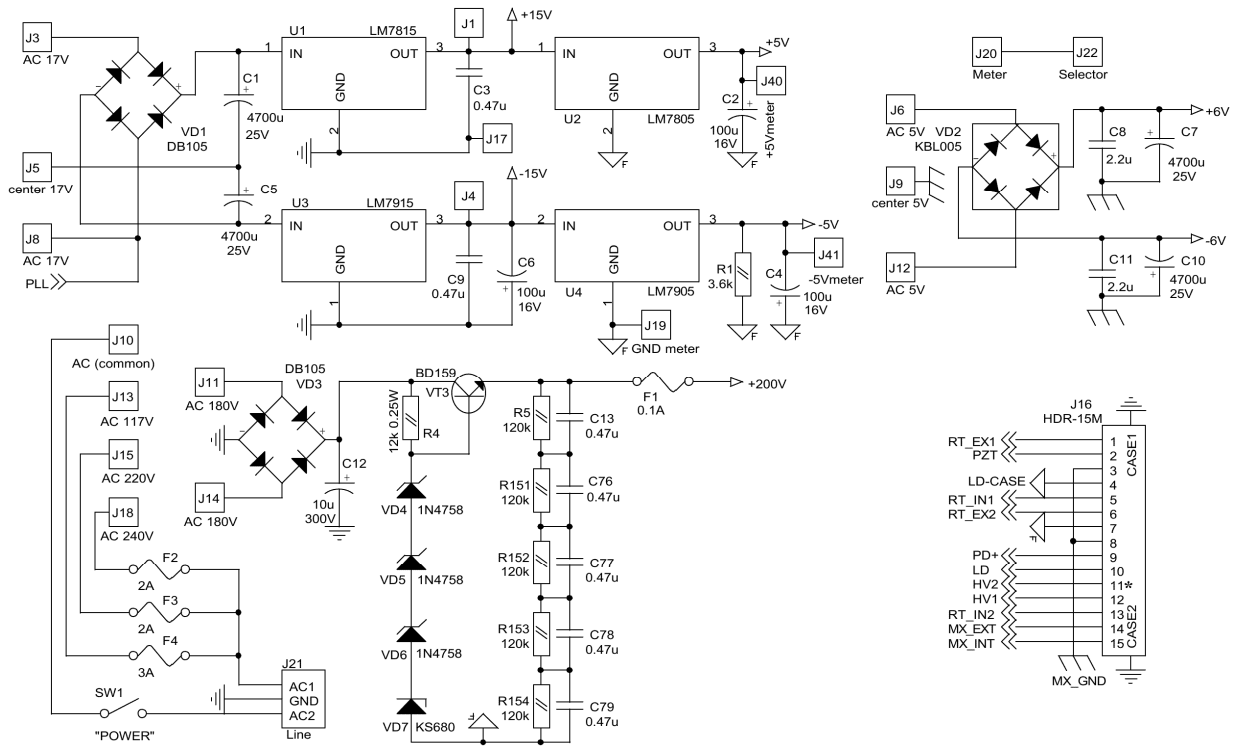


Рис. 10. Схема блока питания.

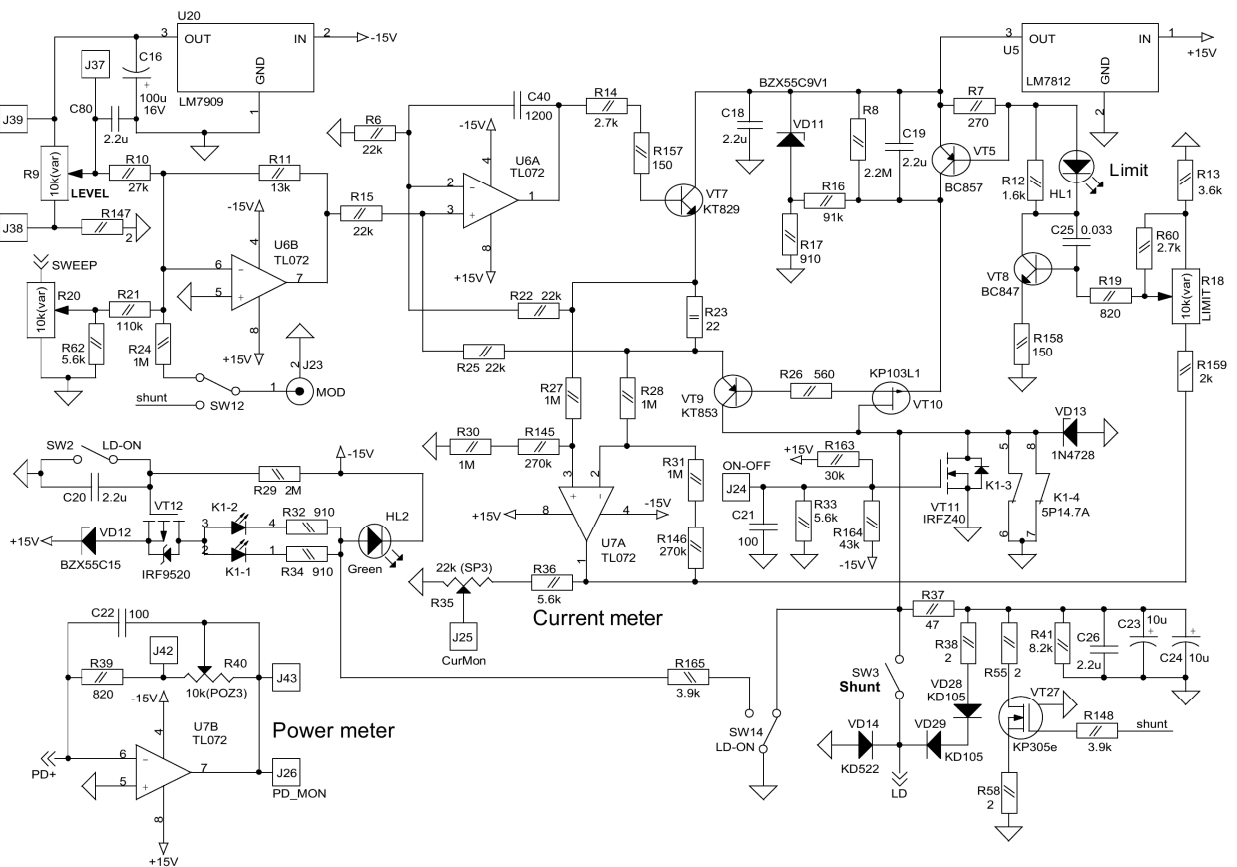


Рис. 11. Схема источника тока.



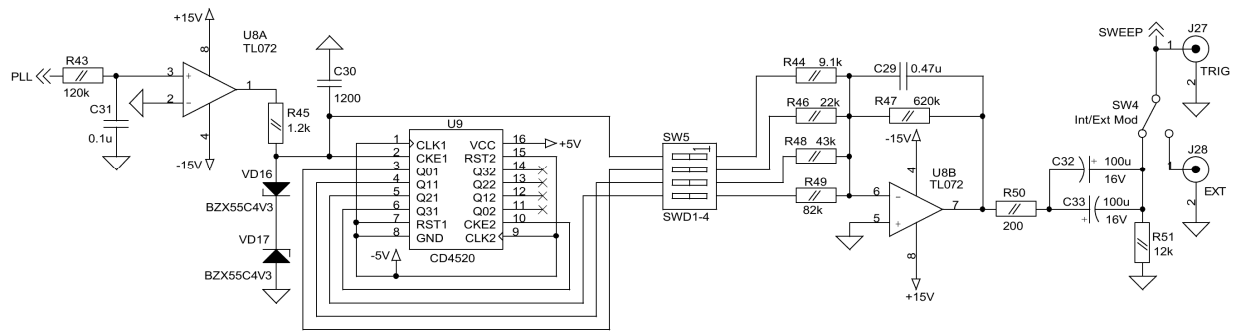


Рис.14. Схема генератора треугольного сигнала.

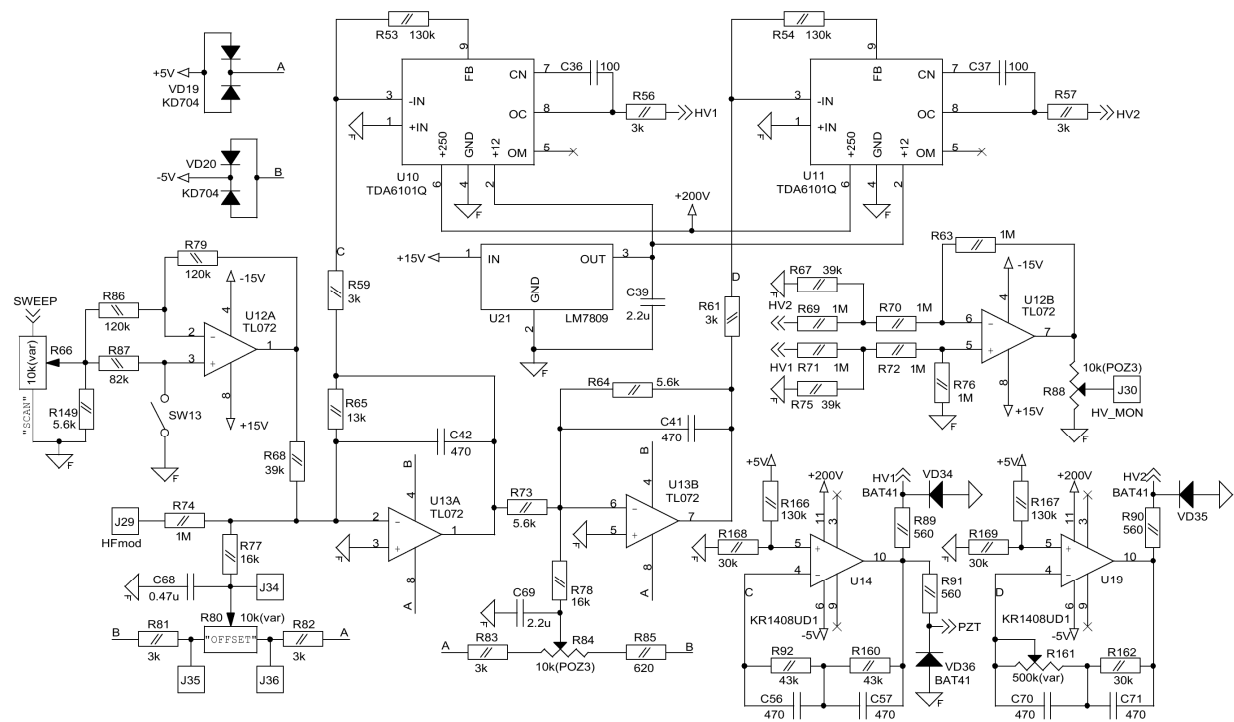


Рис.15. Схема высоковольтного усилителя.



## Общие рекомендации по эксплуатации ECDL-6725R и MOPA-671-500.

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

2. Не нарушайте последовательность включения и выключения ECDL.

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. При запуске лазерной системы сначала включайте ECDL и убедитесь в наличии его выходного излучения, затем включайте оптический усилитель.

5. Не питайте оптический усилитель током, составляющим более половины от его максимального значения, при отсутствии надежного впрыска от задающего ECDL.

### Спецификация ECDL-6725R

1. Длина волны	<b>670.9</b> нм
2. Выходная мощность	
@ 100 mA	7 мВт
@ 120 mA	16 мВт
@ <b>130</b> mA	<b>26</b> мВт
3. Диапазон непрерывной перестройки	
by PZT only	10 ГГц
by PZT+LD current	40 ГГц
4. Диапазон грубой перестройки	$\pm 2$ нм
5. Поляризация	линейная вертикальная
6. Пучок	эллиптический $5 \times 1.5$ мм <sup>2</sup>
7. Пороговый ток	<b>80</b> мА
8. Рабочий ток	<b>130</b> мА
9. Максимальный рабочий ток	135 мА
10. Величина термосопротивления	<b>11.4</b> кОм
11. Размеры оптической головки	$51 \times 46 \times 35$ мм <sup>3</sup>
12. Вес оптической головки	120 г
13. Размеры блока управления	$245 \times 200 \times 55$ мм <sup>3</sup>
14. Вес блоков питания и управления	1.2 кг