

## Техническое описание и руководство по эксплуатации диодного лазера с внешним резонатором ECDL-15510RG (S/N 061571)

Диодный лазер с внешним резонатором (an extended cavity diode laser) ECDL-15510RG является источником перестраиваемого высококогерентного излучения в ближней инфракрасной области оптического спектра. Центральная длина волны рабочего диапазона равна 1560 нм. При этом возможна ее отстройка на 20 нм, как в коротковолновую, так и в длинноволновую сторону. Лазер имеет волоконный выход с разъемом на конце FC-APC типа. Лазер может использоваться в метрологии, спектроскопии, интерферометрии.

ECDL-15510RG 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 100 В. При снятой крышке возможен доступ к его контактам.

### Оптическая головка.

В состав оптической головки (Рис.1) входят:

оптический модуль SAF1550P2 (поз.1);

коллимирующий объектив (поз.2;  $N_A=0.55$ ;  $f=4.5$  мм; выходная апертура – 4.9 мм);

термоэлектрический микрохолодильник (элемент Пельтье);

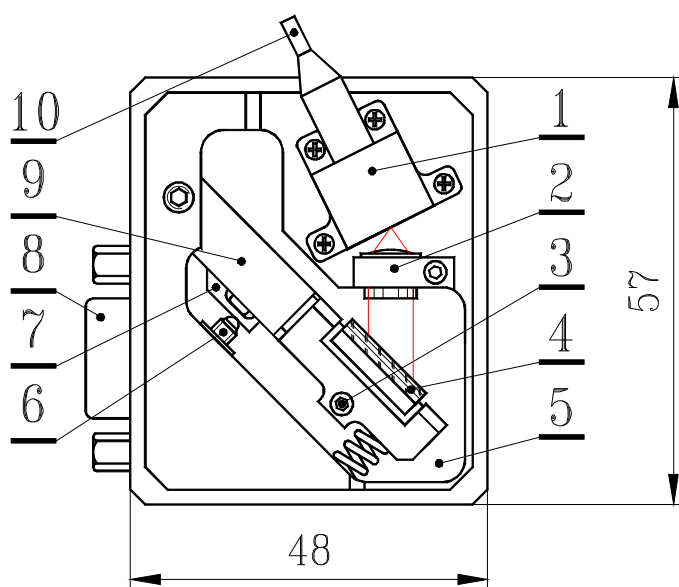
термодатчик (термистор 10 кОм), установленный в корпусе оптической головки вблизи модуля SAF1550P2;

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

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

Корпус лазера (поз.5) служит в качестве каркаса для всех оптических и механических компонентов лазерного резонатора. 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. Следует применять такой монтаж оптической головки, при котором обеспечивается хороший теплоотвод от ее основания.

Оптический резонатор перестраиваемого лазера формируется выходной гранью лазерного диода и дифракционной решеткой ( $900 \text{ мм}^{-1}$ ), установленной в автоколлимационной схеме Литтрова. Волновод лазерного диода (ЛД) со стороны, обращенной к решетке, расположен под углом Брюстера к грани кристалла ЛД. Это обеспечивает вместе с просветляющим покрытием, нанесенным на эту грань, чрезвычайно низкий коэффициент отражения и подавляет собственную генерацию ЛД. Дифракционная 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.1. Оптическая головка (вид сверху при снятой крышке).** 1 – оптический модуль SAF1550P2; 2 – коллимирующий объектив; 3 – вертикальный фиксирующий винт M2; 4 – дифракционная решетка, укрепленная на горизонтальном валу; 5 – корпус оптической головки; 6 – горизонтальный юстировочный винт M3x0,25; 7 – пьезоэлемент; 8 – разъем DHS-15F; 9 – подвижный рычаг; 10 – волоконный выход.

Точное пространственное согласование падающей на решетку и дифрагированной волн критически важно для получения высокой когерентности и значительной мощности в выходном излучении лазера. ECDL-15510RG 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 оптического модуля SAF1550P2 рекомендуется производить его замену только под контролем производителя.

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.3) закручивается или выкручивается соответственно. Слегка асимметричный захват цанги приводит к проворачиванию горизонтального вала при закручивании винта 3 (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 шлицевым ключом из ремонтного комплекта. Для установки данного ключа в торце горизонтального вала имеется шлицевой паз с резьбовым отверстием. При отпущенном фиксирующем винте 3 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.

Пучок лазера, выходящий из нулевого порядка дифракционной решетки, астигматичен. Это связано с его эллиптичностью, типом структуры волновода и выходом под углом от нормали к грани ЛД. 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. Хотя мощность в данном пучке и невелика ( $\leq 5$  мВт), он может быть использован для контроля выходных параметров ECDL, и поэтому для его вывода в крышке оптической головки имеется отверстие.

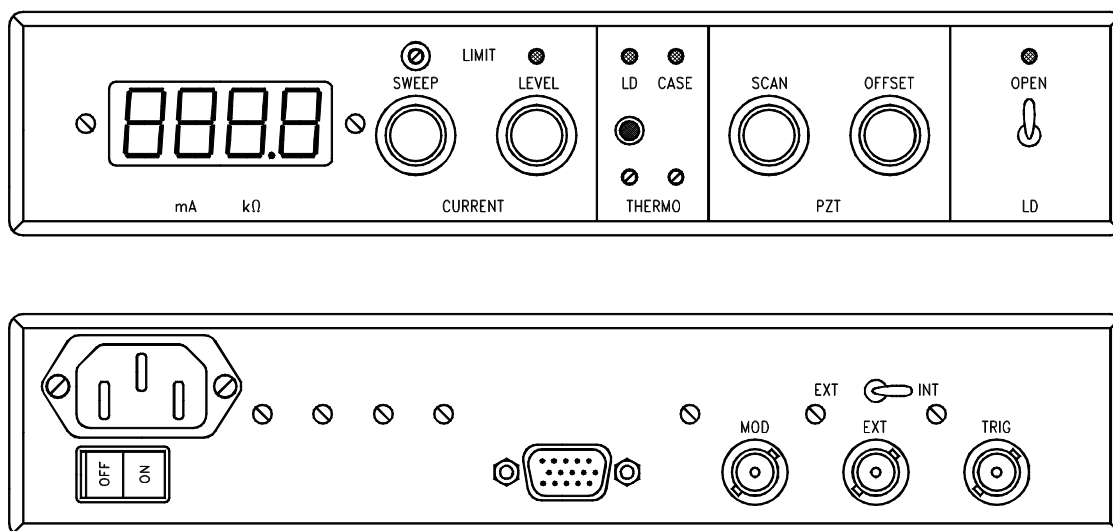
### **Блок управления.**

Блок управления (ULDC251D – a universal laser diode controller) устанавливает ток лазерного диода, температуры оптического модуля и корпуса лазера, длину внешней части лазерного резонатора с точностью, достаточной для достижения требуемых характеристик ECDL-15510RG.

Аналоговый блок питания обеспечивает все напряжения, требуемые для работы электронных узлов: стабилизированные  $\pm 15$ В,  $+100$ В,  $\pm 5$ В и нестабилизированные  $\pm 6$ 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 100 мА (F1 на Рис.5 и 11) 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.2).



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

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 ULDC251D составляет около 190 мА. Полный размах сканирования тока составляет четверть от максимального значения тока (~45 мА).

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 ULDC251D 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 инъекции 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.

ULDC251D имеет два независимых контура термостабилизации (LD и CASE). Первый предназначен для стабилизации температуры лазерного диода, установленного в оптическом модуле SAF1550P2. Второй устанавливает температуру корпуса лазера. В зоне THERMO расположены два подстроечных сопротивления, задающие эти температуры. 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 используется практически полный (100 В) размах 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 источник тока напряжений  $\pm 15$  В.

На задней панели ULDC251D 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 регулировать выходные параметры ECDL-15510RG внешним сигналом, переключатель управляющих сигналов должен быть установлен в положение EXT. При этом выход встроенного генератора отсоединяется от входов источника тока и высоковольтного усилителя, на которые в этом случае, 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.

### **Подготовка к работе ECDL-15510RG .**

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-15510RG .**

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-15510RG .**

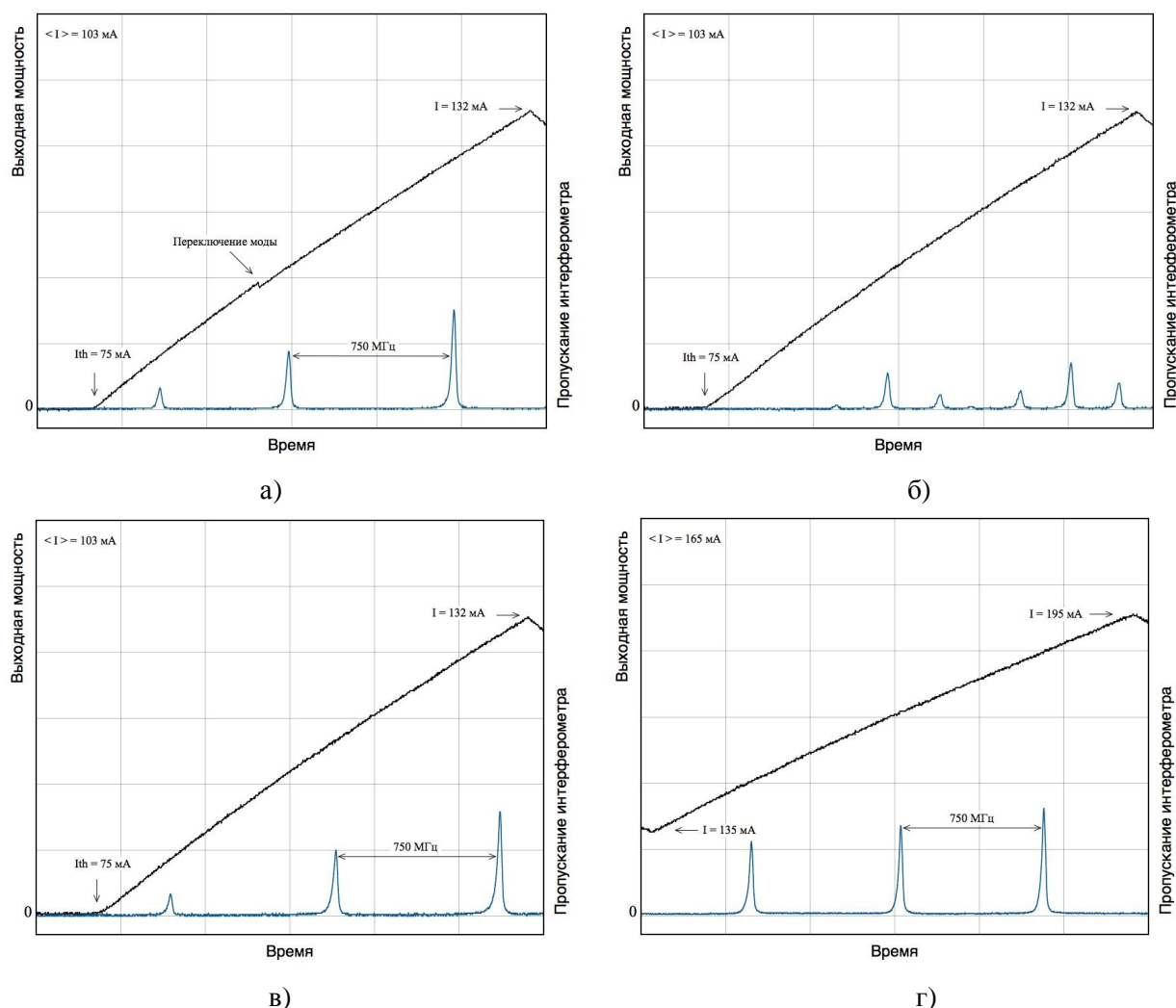
Механическая стабильность ECDL-15510RG достаточно высока, чтобы сохранять выходные параметры лазера в течение недель. Так что регулировка тока инжекции лазерного диода и напряжения на пьезоэлементе является достаточным средством для точной настройки лазера на желаемую длину волны (например, длину волны 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-15510RG и могут служить в качестве образцовых при его юстировке.

На рисунке 3 показаны осциллограммы (отображены черным), соответствующие ватт-амперной характеристике (ВтАХ) ECDL-15510RG, т.е. зависимости выходной мощности лазера от тока инжекции при разных положениях дифракционной решетки. 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 3а – 3в соответствуют допороговому режиму лазера. С появлением генерации выходная мощность нарастает с ростом тока. Также изменение тока приводит к относительному смещению частот лазерной моды и контура селективности решетки, которое влияет на режим работы лазера и перескоки мод. На Рис.3а такой перескок моды наблюдается на ВтАХ вполне отчетливо.

Одновременно с ВтАХ записано пропускание конфокального интерферометра Фабри-Перо типа (синие кривые), которое наглядно демонстрирует одночастотность

режима генерации лазера в случаях 3а, 3в и 3г. Рис.3б соответствует неоптимальному взаимному положению лазерной моды и минимума потерь лазерного резонатора, что снижает контраст продольных мод. Область свободной дисперсии интерферометра составляет 750 МГц, демонстрируя диапазон непрерывной перестройки ECDL-15510RG током более 1,5 ГГц (Рис.3в и 3г).



**Рис.3. Зависимости выходной мощности лазера (черные кривые) и пропускание конфокального интерферометра (синие кривые) от тока инжекции при разных положениях дифракционной решетки.** Ток лазерного диода модулируется симметричным треугольным сигналом (показан один склон – половина периода модуляции).

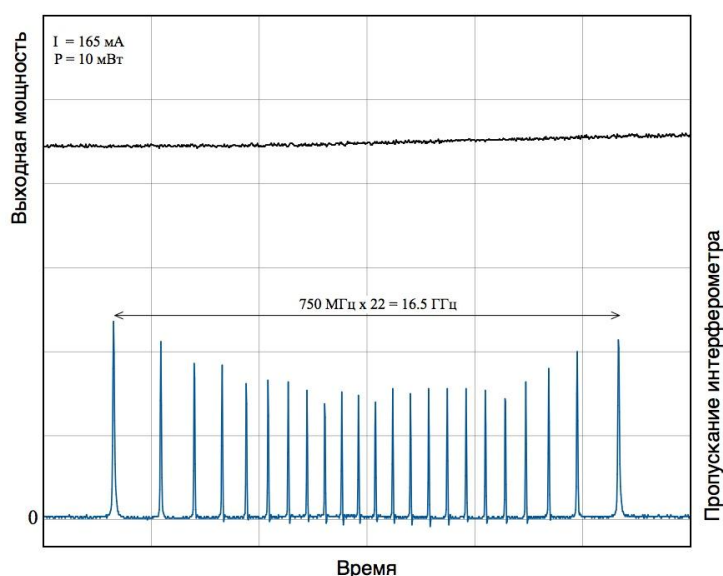
Зависимости, показанные на Рис.3, сняты при постоянном напряжении на пьезоэлементе и при среднем токе накачки 103 мА для рисунков 3а–3в, а для Рис.3г при среднем токе 165 мА (амплитуда сканирования тока постоянна и максимальна). Рукоятка SCAN установлена в крайнее левое положение, рукоятка OFFSET в среднее.

Следующие осциллограммы (Рис.4) сняты при постоянном токе лазерного диода и линейно изменяющемся во времени напряжении на пьезоэлементе. Осциллограммы



соответствуют только одному склону модулирующего сигнала. Амплитуда сканирования пьезоэлемента выбрана максимальной.

Выходная мощность лазера (черная кривая) при сканировании длины внешнего резонатора плавно меняется на несколько процентов. Отсутствие резких скачков свидетельствует о непрерывности перестройки частоты лазера во всем диапазоне напряжений на пьезоэлементе. Нижняя синяя кривая показывает пропускание конфокального интерферометра в тех же условиях. По количеству последовательно зарегистрированных пиков пропускания можно измерить диапазон непрерывной перестройки частоты. Различия в амплитуде резонансов интерферометра связаны с нелинейным откликом пьезоэлемента на сигнал модуляции и дискретностью при оцифровке зарегистрированного сигнала. Понижение частоты сканирования пьезоэлемента снижает степень нелинейности его отклика на модулирующий сигнал, как для любого конденсатора емкостью 4,2 мкФ.



**Рис.4. Зависимости выходной мощности лазера (черная кривая) и пропускания конфокального интерферометра (синяя кривая) от линейно меняющегося во времени напряжения на пьезоэлементе. Ток лазерного диода не меняется.**

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 тем самым увеличить диапазон непрерывной перестройки длины волны лазера с внешним резонатором. 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), не всегда удается получить одновременно на обоих склонах управляющего сигнала строго согласованный сдвиг собственной и внешней мод. Поэтому поведение лазера в отношении перестройки частоты может отличаться для разных склонов управляющего сигнала.

Для ECDL-15510RG применение одновременного сканирования тока и напряжения на пьезоэлементе дает незначительную прибавку к полному диапазону непрерывной перестройки частоты вследствие практически полного отсутствия модуляции в усилении лазерного диода, связанного с наличием его собственных мод, а также вследствие хорошего согласования в перестройке частоты моды внешнего резонатора и контура селективности дифракционной решетки. Однако небольшое сканирование тока диода может частично скомпенсировать изменение выходной мощности лазера при сканировании пьезоэлемента.

### **Юстировка ECDL-15510RG.**

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

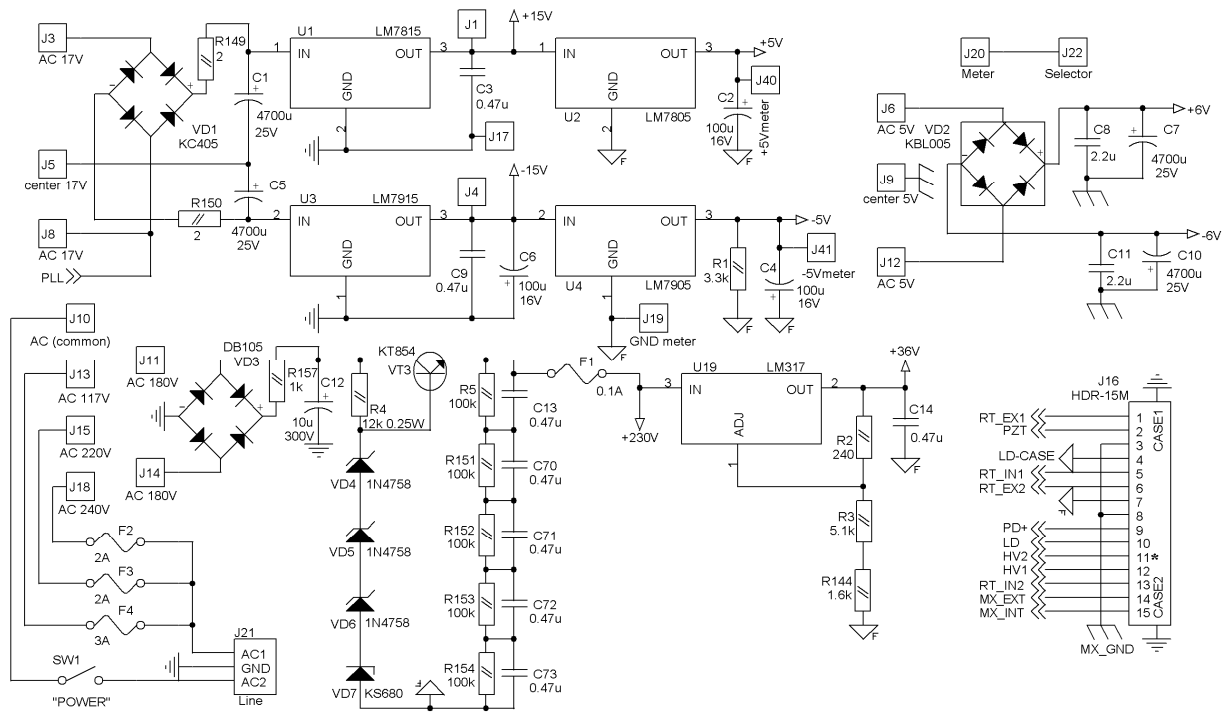
1) Вставить шлицевой ключ из ремкомплекта в паз горизонтальной оси дифракционной решетки.

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

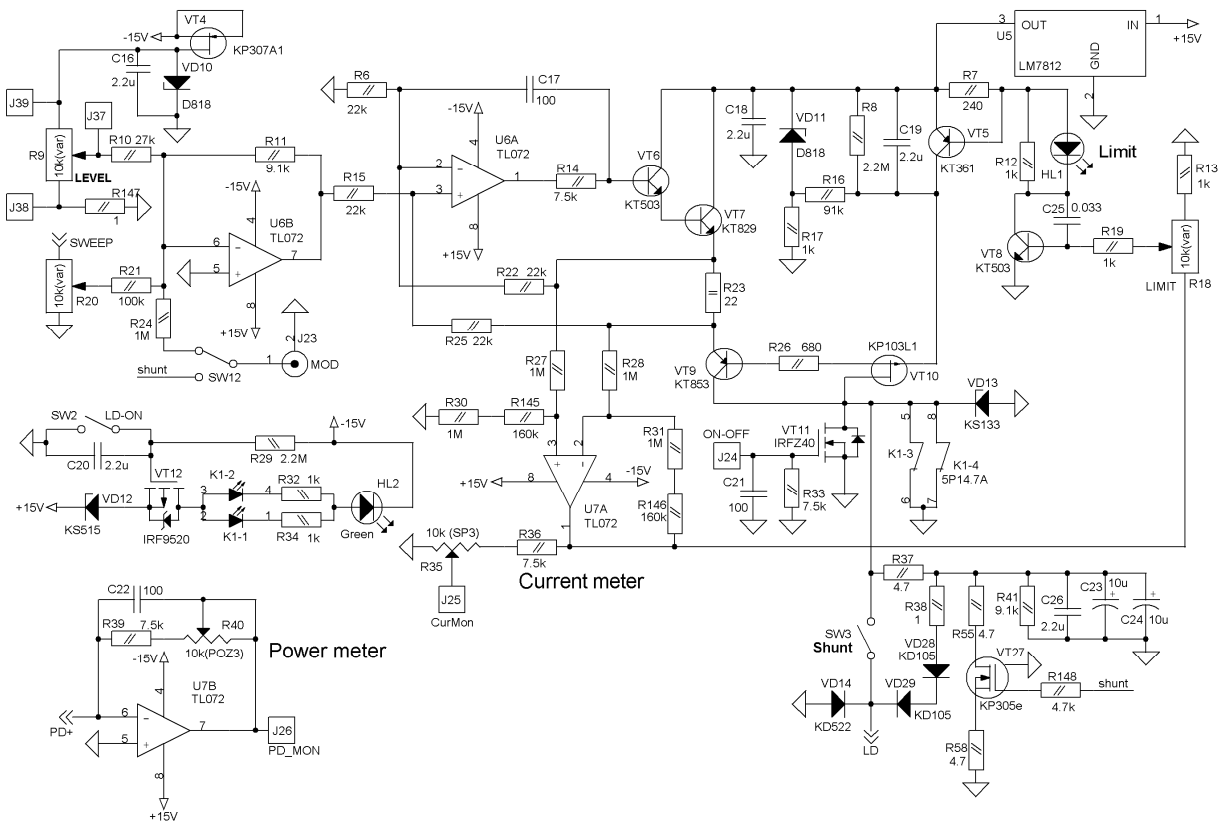
3) Если движение рычага вниз (т.е. лазерный луч, отраженный от дифракционной решетки движется вверх) приводит к уменьшению порогового тока, то следует вращать фиксирующий винт (Рис.1, поз.3) по часовой стрелке. В противоположном случае фиксирующий винт следует слегка ослабить. Для вращения фиксирующего винта используется средний шестигранный ключ из ремкомплекта. Как правило, вращения на несколько градусов достаточно для восстановления режимов работы ECDL-15510RG .

4) После достижения минимума порога генерации установить, если требуется, необходимую длину волны горизонтальным юстировочным винтом (Рис.1, поз.6), доступ к которому возможен и при закрытой крышке оптической головки. Для вращения горизонтального юстировочного винта используется самый малый шестигранный ключ из ремкомплекта.

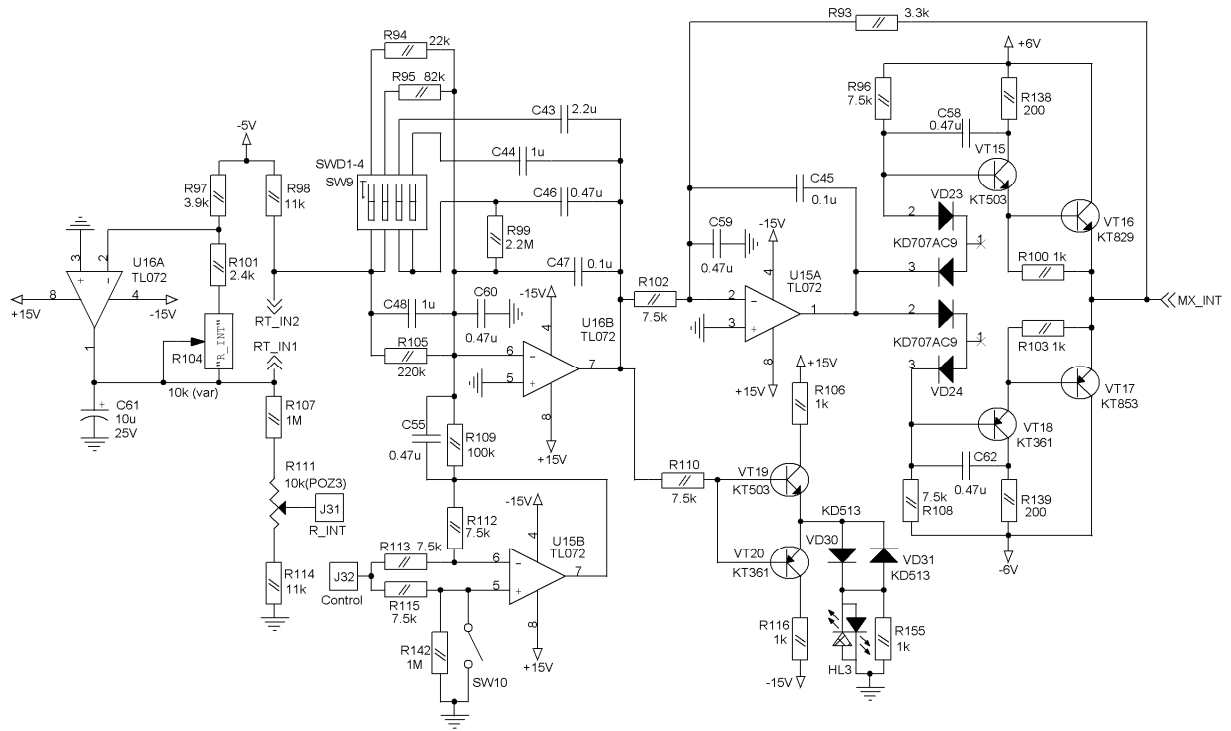
## Приложение. Принципиальные и монтажные схемы ULDC251D.



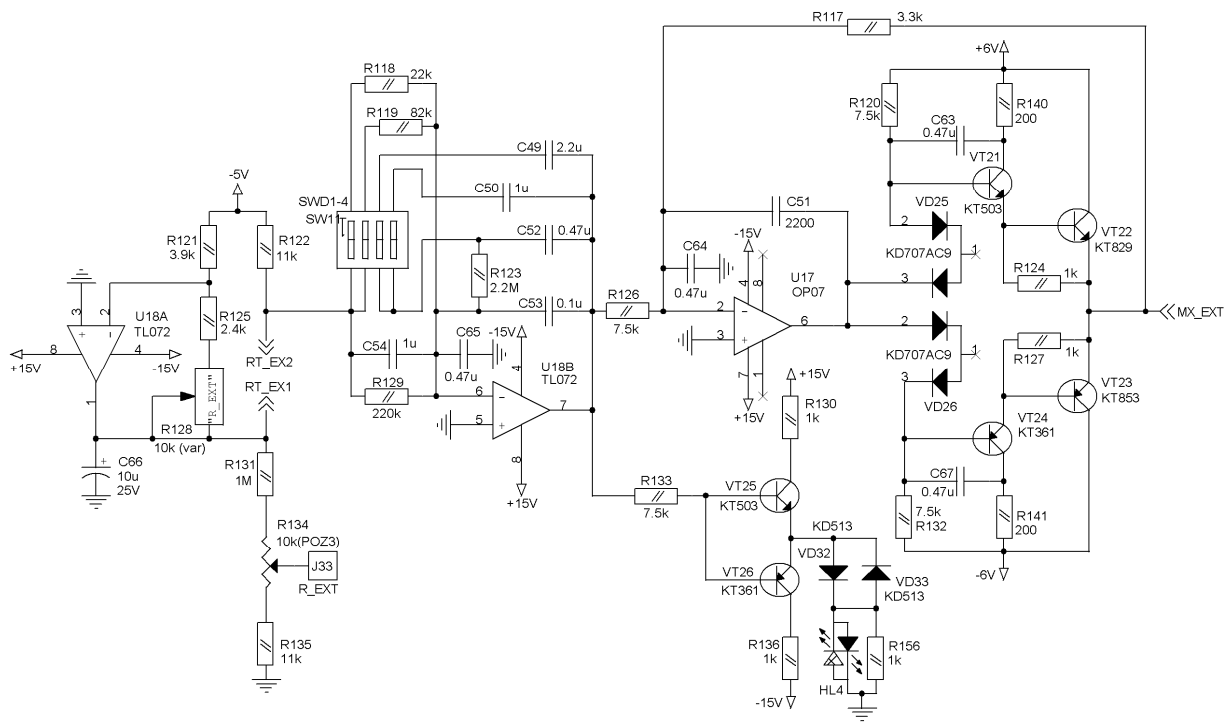
**Рис.5. Схема блока питания.**



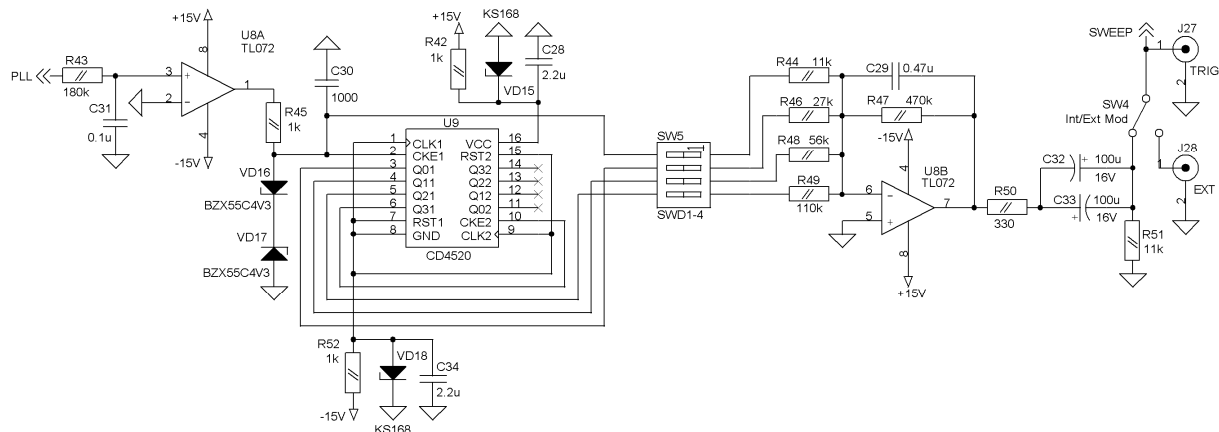
**Рис.6. Схема источника тока.**



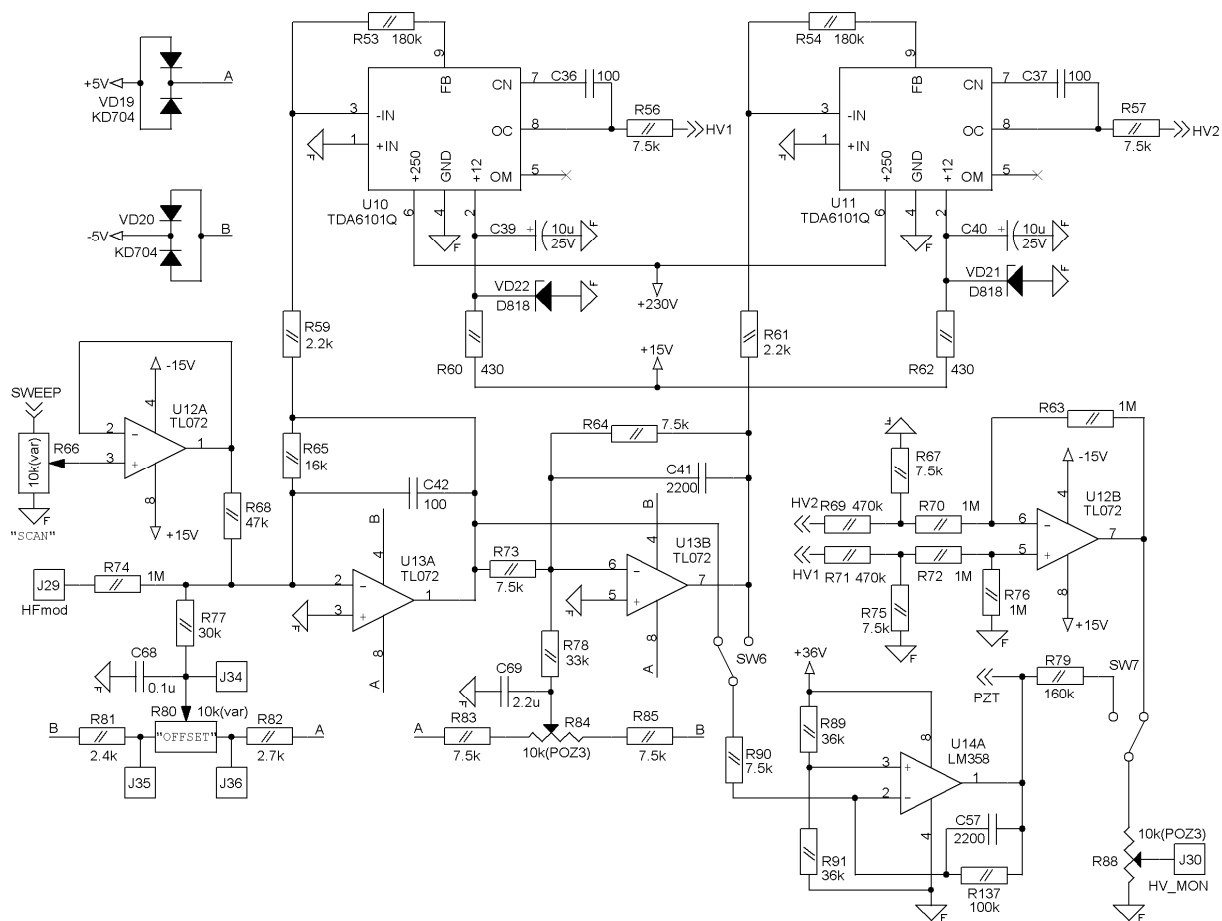
**Рис.7. Схема контроллера температуры модуля SAF1550P2.**



**Рис.8. Схема контроллера температуры корпуса оптической головки.**



**Рис.9. Схема генератора треугольного сигнала.**



**Рис.10. Схема высоковольтного усилителя.**

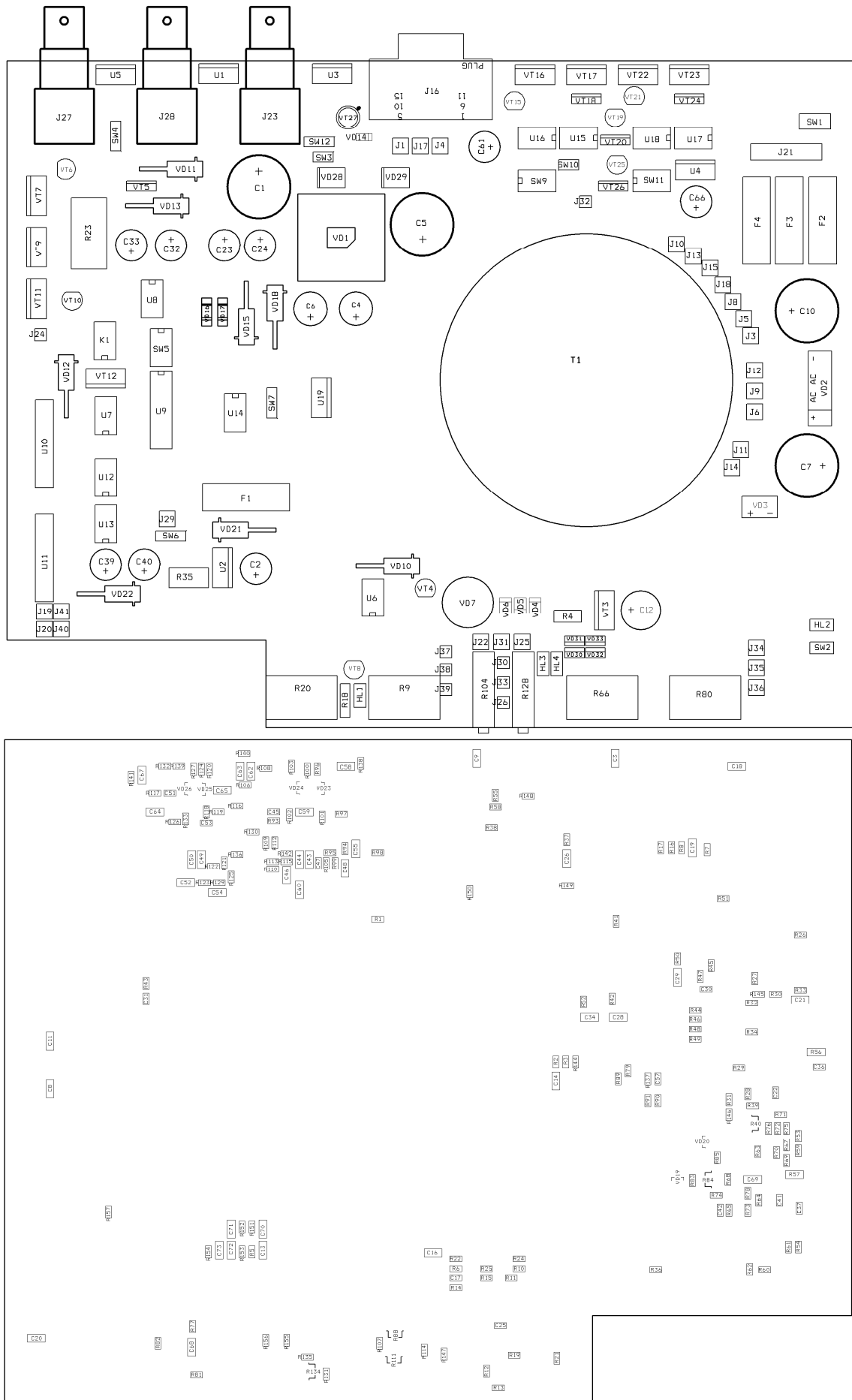


Рис.11. Монтажные схемы ULDC251D.

### COVEGA SAF-19799 data

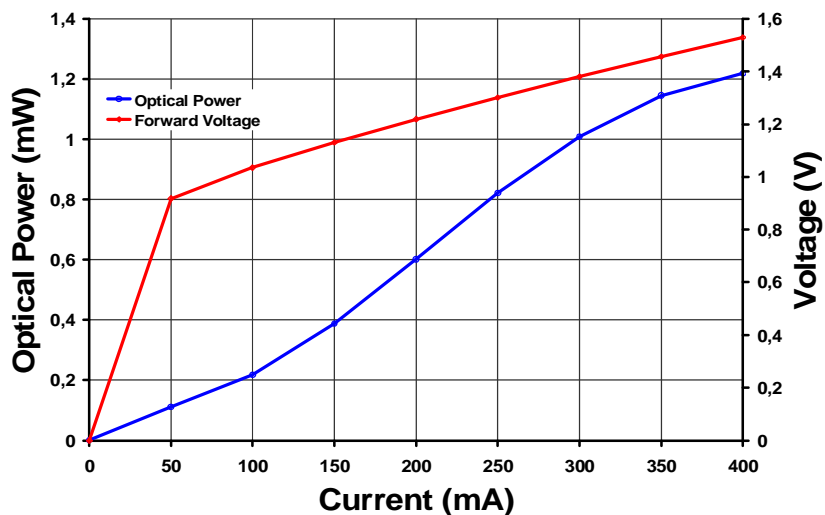


Рис.12. SAF LIV Plot.

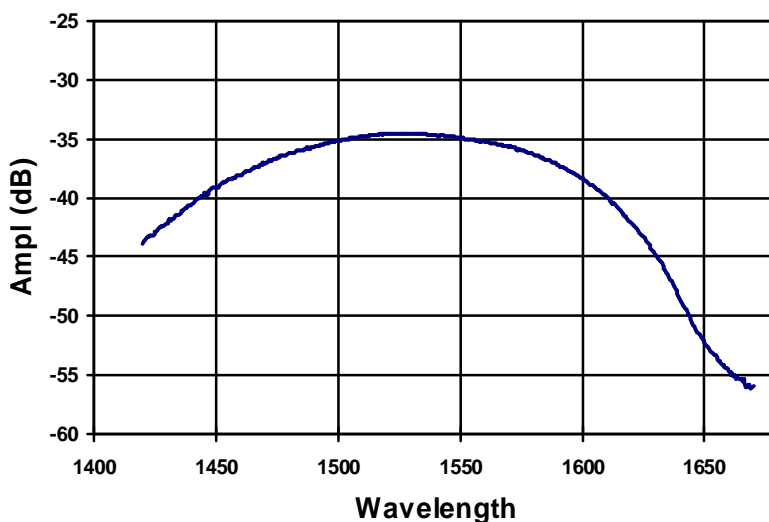


Рис.13. SAF Spectrum.

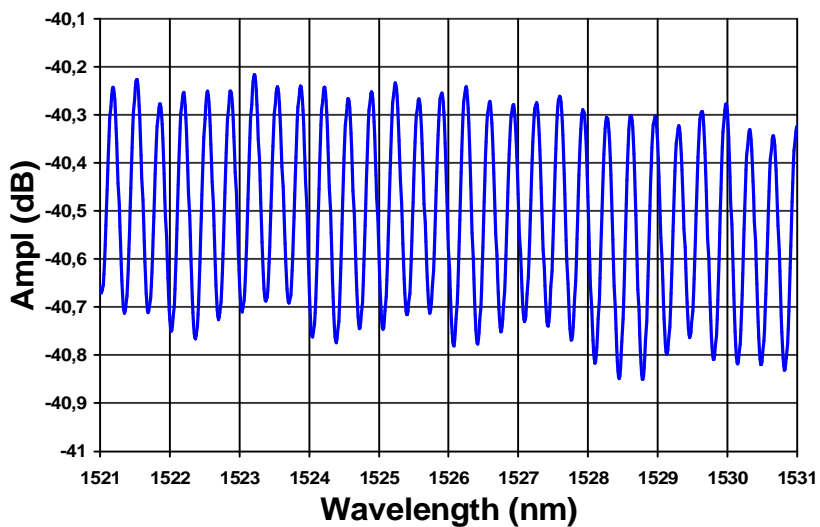


Рис.14. SAF Fine Spectrum @ 300mA.

## Общие рекомендации по эксплуатации ECDL-15510RG .

1. Не пытайтесь изменить настройку выходного объектива. В случае повреждения или деградации оптического модуля SAF1550P2 производите его замену только под контролем производителя.

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 термистора, равного - 4,6 %/°C вблизи 25°C. Более точно температура может быть определена по формуле:

$$1/T=A+B*\ln(R)+C*(\ln(R))^3,$$

где T – температура в градусах Кельвина, R – сопротивление в Омах, A, B и C – коэффициенты Штейнхарта.

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	<b>1566 нм</b>
2. Выходная мощность @ <b>180</b> мА	
основной волоконный выход	<b>10 мВт</b>
вспомогательный выход	<b>4 мВт</b>
3. Диапазон непрерывной перестройки by PZT only	> 16 ГГц
4. Диапазон грубой перестройки	± 20 нм
5. Поляризация (нулевой порядок)	линейная, горизонтальная
6. Пучок	TEM <sub>00</sub>
7. Пороговый ток @ <b>1566</b> нм	<b>75 мА</b>
8. Рабочий ток	<b>165 мА</b>
9. Величина термосопротивления	<b>11.5 кОм</b>
10. Размеры оптической головки	57×53×33 мм <sup>3</sup>
11. Вес оптической головки	180 г
12. Размеры блока управления	245×200×55 мм <sup>3</sup>
13. Вес блока управления	1,5 кг