

Техническое описание и руководство по эксплуатации блока стабилизации частоты LHV160

Блок стабилизации частоты LHV160 предназначен для привязки частоты перестраиваемого лазера к резонансам, формируемым поглощающей средой или внешним оптическим резонатором. В его состав входят блок питания, генератор треугольного сигнала, синусоидальный генератор, фазовращатель, аналоговый перемножитель и ПИД контроллер с регулируемыми полосами усиления. Опционально блок стабилизации частоты может иметь высоковольтный выход для управления пьезоэлементами (модель LHV162). Блок-диаграмма (Рис.1) отражает назначение и взаимосвязь электронных узлов.

Принцип действия блока стабилизации частоты основывается на том, что величина произведения двух синусоидальных сигналов одинаковой частоты пропорциональна разности фаз этих сигналов:

$$\sin(\omega t + a)\sin(\omega t) = \frac{1}{2} \cos a - \frac{1}{2} \cos(2\omega t + a). \quad (1)$$

В точке экстремума фаза детектируемого сигнала модуляции меняет знак, и это возможно зарегистрировать. Для этого высокочастотная компонента $\cos(2\omega t + a)$ отфильтровывается, а оставшийся сигнал дисперсионной формы позволяет обеспечить взаимную привязку лазера и источника опорного резонанса.

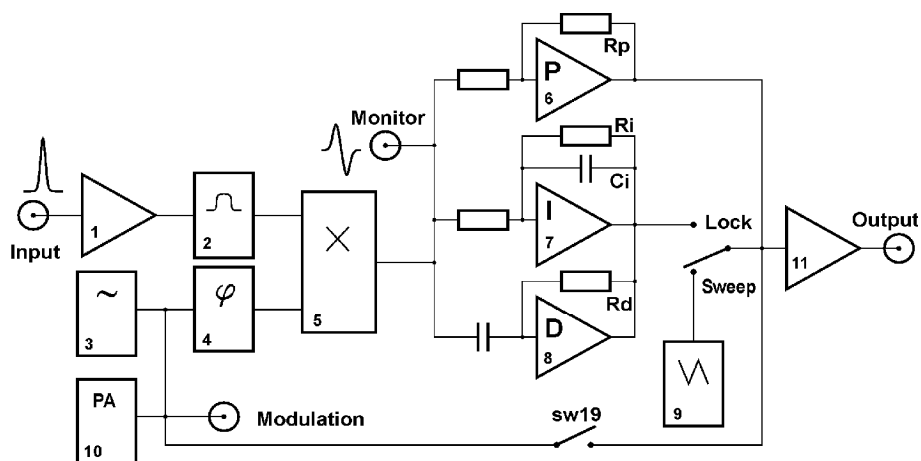


Рис.1. Блок-диаграмма LHV160. 1 – входной усилитель; 2 – полосовой фильтр; 3 – генератор синусоидального сигнала; 4 – фазовращатель; 5 – перемножитель; 6 – пропорциональный усилитель; 7 – интегральный усилитель; 8 – дифференциальный усилитель; 9 – генератор треугольного сигнала; 10 – усилитель мощности; 11 – суммирующий усилитель.

На Рис.2 показан вид спереди и сзади на блок стабилизации частоты LHV160. Передняя панель LHV160 разделена на несколько функциональных зон, назначение

которых приводится ниже. Также в описании LHV160 будут ссылки на электронные и монтажные схемы, представленные на рисунках 3 – 8.

Аналоговый блок питания (Рис.3) обеспечивает блок стабилизации частоты всеми необходимыми для его корректной работы напряжениями: $\pm 12\text{В}$ и $+200\text{В}$ (только для LHV162). Под крышкой блока вблизи сетевого разъема питания расположены три гнезда для плавких предохранителей, каждый из которых соответствует одному из возможных сетевых напряжений – 240В, 220В и 117В. **Только один из предохранителей должен быть установлен в соответствующее гнездо!** Еще один предохранитель номиналом 100 мА (F1 на Рис.3) защищает выход высоковольтного усилителя от замыкания.

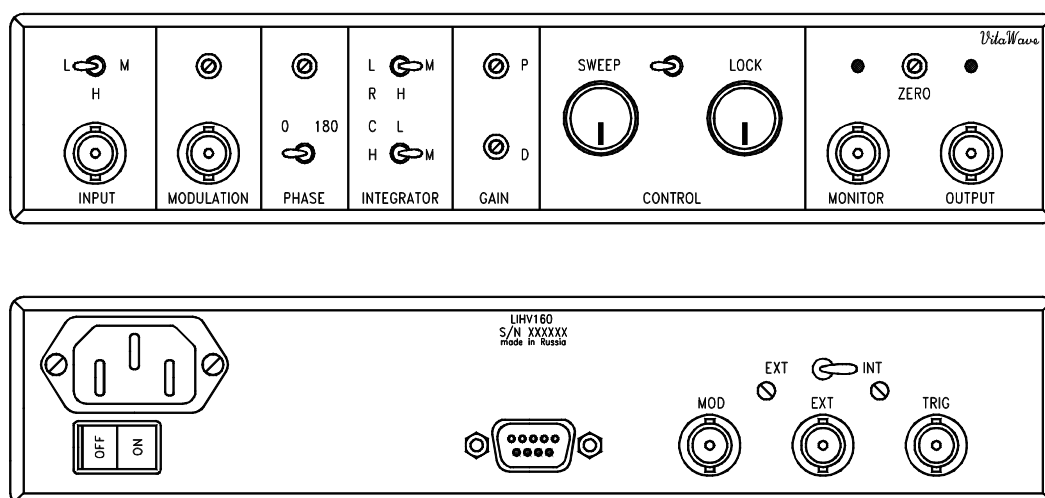


Рис.2. Вид спереди и сзади на блок стабилизации частоты LHV160.

Встроенный генератор (позиция 3 на Рис.1 и U5a на Рис.4) дает на выходе синусоидальный сигнал частотой около 10 кГц. Фазовращатель (поз.4 на Рис.1 и VT2-R23 на Рис.4) преобразует его в два, чьи относительные фазы могут изменяться в диапазоне 320° . Один из этих сигналов – опорный (U6, U7a) – прямо поступает на вход аналогового перемножителя (поз.5 на Рис.1 и на Рис. 5), а другой (HFmod, U4, U7b на Рис.4) используется для модуляции частоты лазера или оптического резонанса. Регулировка амплитуды модуляции (R43 на Рис.4) и выход сигнала модуляции расположены в зоне MODULATION на передней панели LHV160. Максимальная амплитуда модуляции составляет $2V_{н-п}$.

С помощью переключки SW19 сигнал модуляции также можно подать на вход суммирующего усилителя (поз.11 на Рис.1 и U25a на Рис.6). В этом случае модулируется и привязывается один и тот же объект (например, частота лазера к атомному резонансу). Чтобы разделить каналы модуляции и управления (скажем, модулируем базу

интерферометра, а обратную связь подаем в частоту лазера), нужно снять перемычку SW19. Доступ к SW19 открывается при снятой верхней крышке LHV160.

Усилитель мощности (поз.10 на Рис.1) позволяет раскачивать пьезоэлементы повышенной емкости (ножка 7 разъема J8 на Рис.3 и 8).

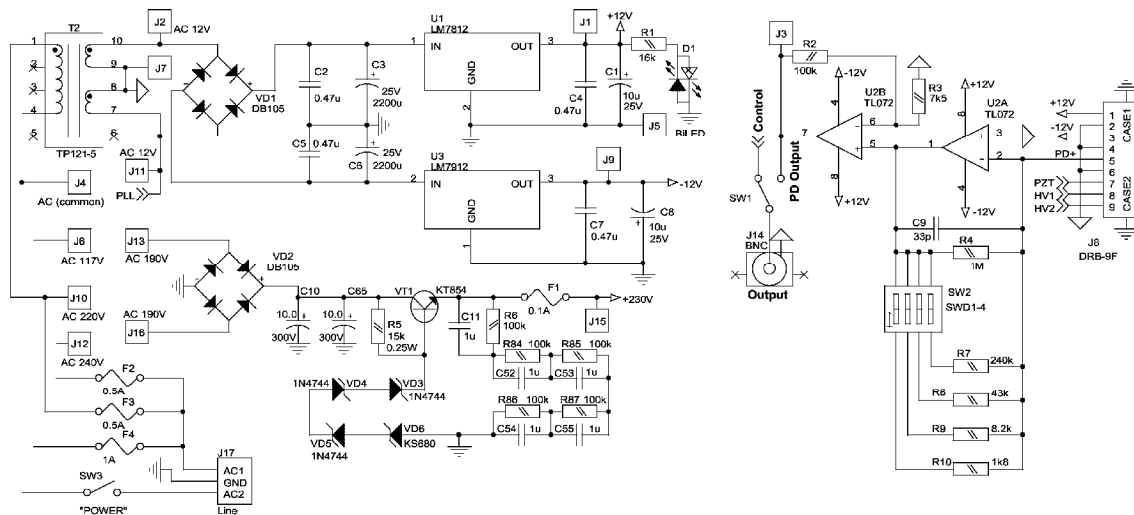


Рис.3. Схемы блока питания и трансимпедансного усилителя с выходным разъемом DRB-9F.

Усилитель оптически детектированного сигнала (входной усилитель, поз.1 на Рис.1 и U8a на Рис.5) имеет три уровня усиления: L – низкий, H – высокий, M – средний. Его вход (BNC-разъем) и переключатель усиления расположены в зоне INPUT на передней панели. Средний уровень усиления соответствует уровню входного сигнала приблизительно 50 мВ_{п-п}. Положение L входного переключателя уменьшает входное усиление в пять раз, положение H – в пять раз увеличивает.

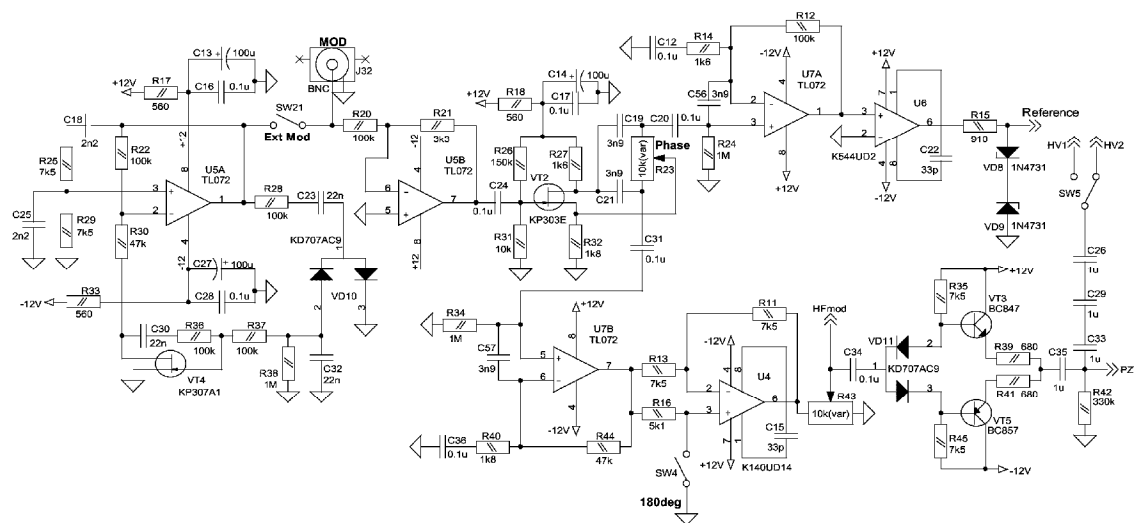


Рис.4. Схемы генератора синусоидального сигнала, фазовращателя и усилителя мощности.

После входного усилителя сигнал проходит через полосовой фильтр, подавляющий как низкочастотные шумы, так и удвоенную частоту модуляции в детектированном сигнале, которая дает подставку на выходе синхронного детектора (аналогового перемножителя). Центральная частота полосового фильтра (поз.2 на Рис.1 и U8b на Рис.5) соответствует частоте модуляции, а его границы находятся вблизи 5 и 15 кГц.

Относительная фаза входного и опорного сигналов может быть плавно подстроена переменным сопротивлением (R23 на Рис.4) или скачком изменена на π переключателем (SW4 на Рис.4), расположенными в зоне PHASE на передней панели прибора.

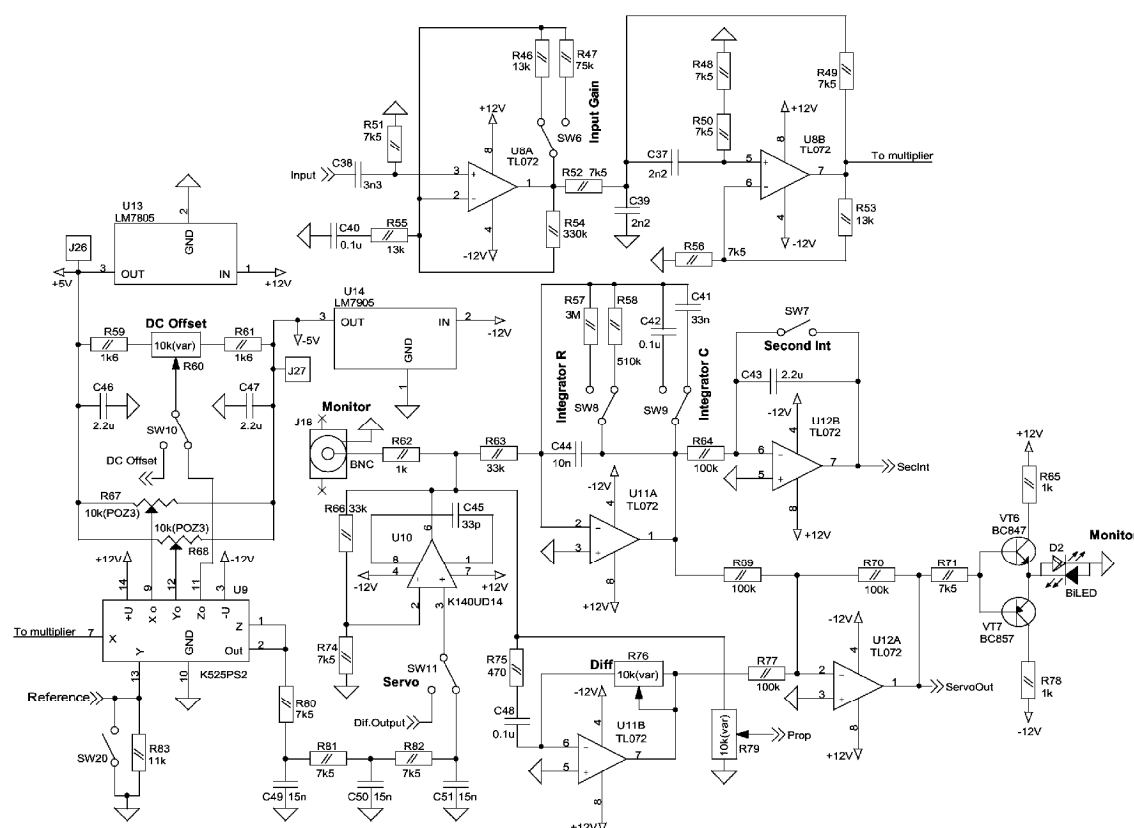


Рис.5. Схемы входного усилителя, полосового фильтра, перемножителя и ПИД регулятора.

Напряжение на выходе аналогового перемножителя (поз.5 на Рис.1 и U9 на Рис.5) пропорционально произведению напряжений детектированного и опорного сигналов. Результат произведения содержит 2f-компоненту (см. выражение (1)), которая отсекается фильтром нижних частот (R80-82, C49-51 на Рис.5) для получения дисперсионного сигнала, подобного производной от формы оптического резонанса. Этот сигнал выводится на разъем MONITOR в зоне OUTPUT прибора, и его можно наблюдать на осциллографе (Рис.9). Потенциометр ZERO, расположенный в той же зоне, меняет DC уровень на

выходе умножителя (R60 на Рис.5), что позволяет в некоторых пределах сдвигать точку привязки оптической частоты по отношению к вершине резонанса.

Для получения надежного и стабильного захвата оптической частоты усиление в петле обратной связи должно быть точно подобрано в соответствии с передаточной характеристикой управляемого объекта, которым может быть установленное на пьезоподвижку зеркало, ток лазерного диода, гальванический привод и т.д. Данная задача решается использованием ПИД регулятора, который имеет три канала с разными передаточными характеристиками. Амплитуда выходного сигнала пропорционального усилителя (поз. 6 на Рис.1 и U10 на Рис.5) не зависит от частоты входного сигнала. Усиление интегрального усилителя (поз.7 на Рис.1 и U11a на Рис.5) достигает максимума при очень низких частотах и стремится к нулю на высоких. Противоположную частотную зависимость имеет дифференциальный усилитель (поз.8 на Рис.1 и U11b на Рис.5). Усиление или частота единичного усиления каждого канала могут быть подстроены независимо, а их сумма определяет полное усиление ПИД регулятора (поз.11 на Рис.1 и U12a, U25a на Рис.5 и 6).

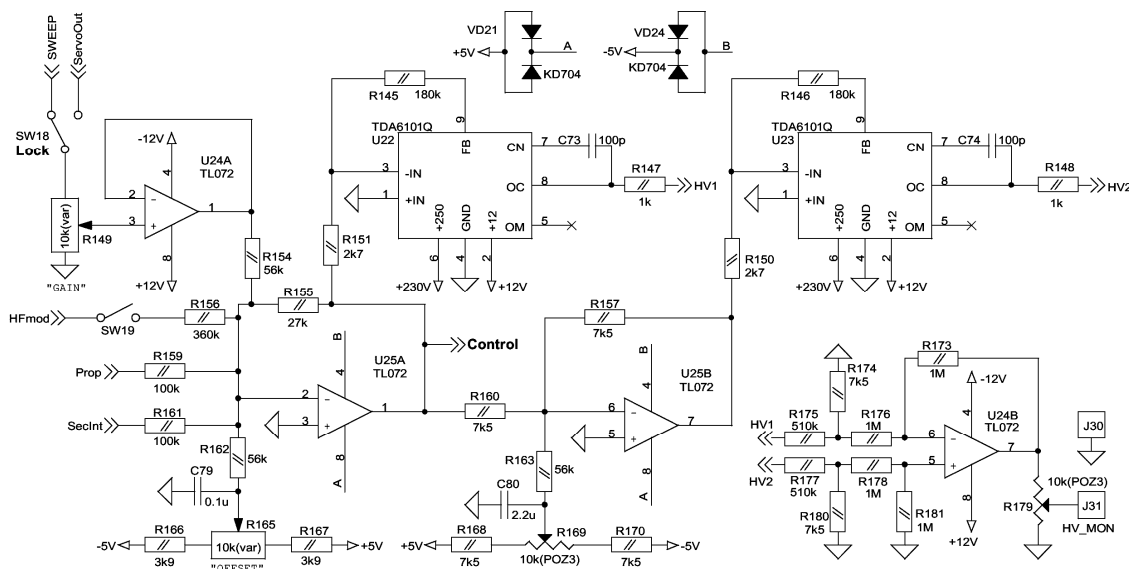


Рис.6. Схемы суммирующего усилителя и высоковольтного усилителя.

Постоянная времени интегратора изменяется переключателем С в зоне INTEGRATOR. Величина конденсатора обратной связи (C_i на Рис.1 и C41, C42, C44 на Рис.5) составляет 10 нФ в положении переключателя L (низкая емкость, высокая частота единичного усиления), 33 нФ – в положении M (средняя емкость) и 100 нФ – в положении H (высокая емкость, малая частота единичного усиления). Шунтирующий резистор (R_i на Рис.1 и R57, R58 на Рис.5) ограничивает усиление интегратора на очень низких частотах и способствует разрядке конденсатора C_i, что упрощает старт привязки оптической

частоты. Переключатель **R** в зоне INTEGRATOR устанавливает три возможных уровня для Ri: L – 510 кОм, М – 3 МОм и Н – резистор отсутствует.

Переменные сопротивления под шлиц **P** (R79 на Рис.5) и **D** (Rd на Рис.1 и R76 на Рис.5) в зоне GAIN устанавливают усиление пропорционального и постоянную времени дифференциального усилителей соответственно. Выход суммирующего усилителя соединен с правым BNC разъемом в зоне OUTPUT, а двухцветный светодиод в той же зоне отражает уровень его сигнала. При напряжении на выходе суммирующего усилителя более 2В светодиод светит красным, при напряжении менее -2В – зеленым. Таким образом, отсутствие его свечения в условиях привязки оптической частоты является индикатором ее стабильного удержания, а появление свечения информирует о стремлении системы выйти из области захвата.

Выход пропорционального усилителя подсоединен ко второму каскаду (первый – это U12a) суммирующего усилителя (U25a на Рис.6), минуя переключатель SWEEP–LOCK в зоне CONTROL на передней панели (SW18 на Рис.6). Это позволяет запустить процедуру захвата оптической частоты (“затягивание частоты”) еще в условиях ее сканирования.

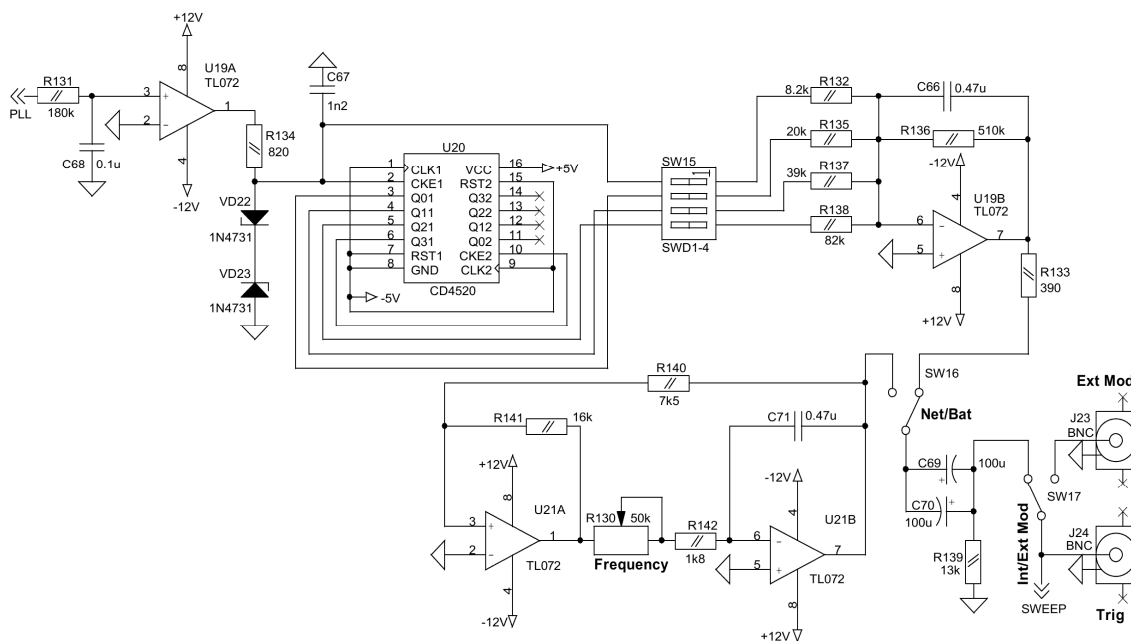


Рис.7. Схема генератора треугольного сигнала.

В состав блока стабилизации частоты входит генератор треугольного сигнала (поз.9 на Рис.1 и схема на Рис.7), который может сканировать выход LHV160 на сетевой частоте или частоте ее субгармоник. Выбор частоты сканирования осуществляется установкой одного из движков переключателя SW15 (Рис.7) в положение ON. Переключатель расположен на монтажной плате (Рис.8). Как правило, в приборе предустановлена частота сканирования 25 Гц. Выход генератора сканирования размахом

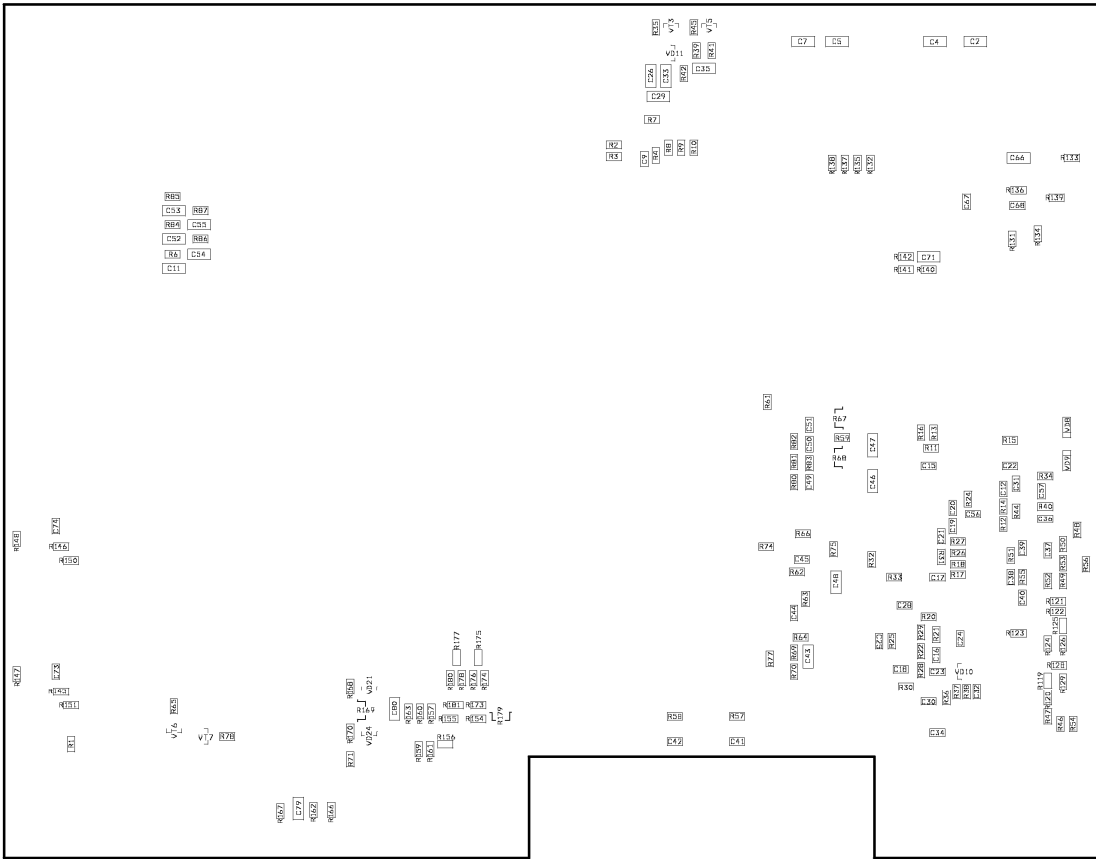
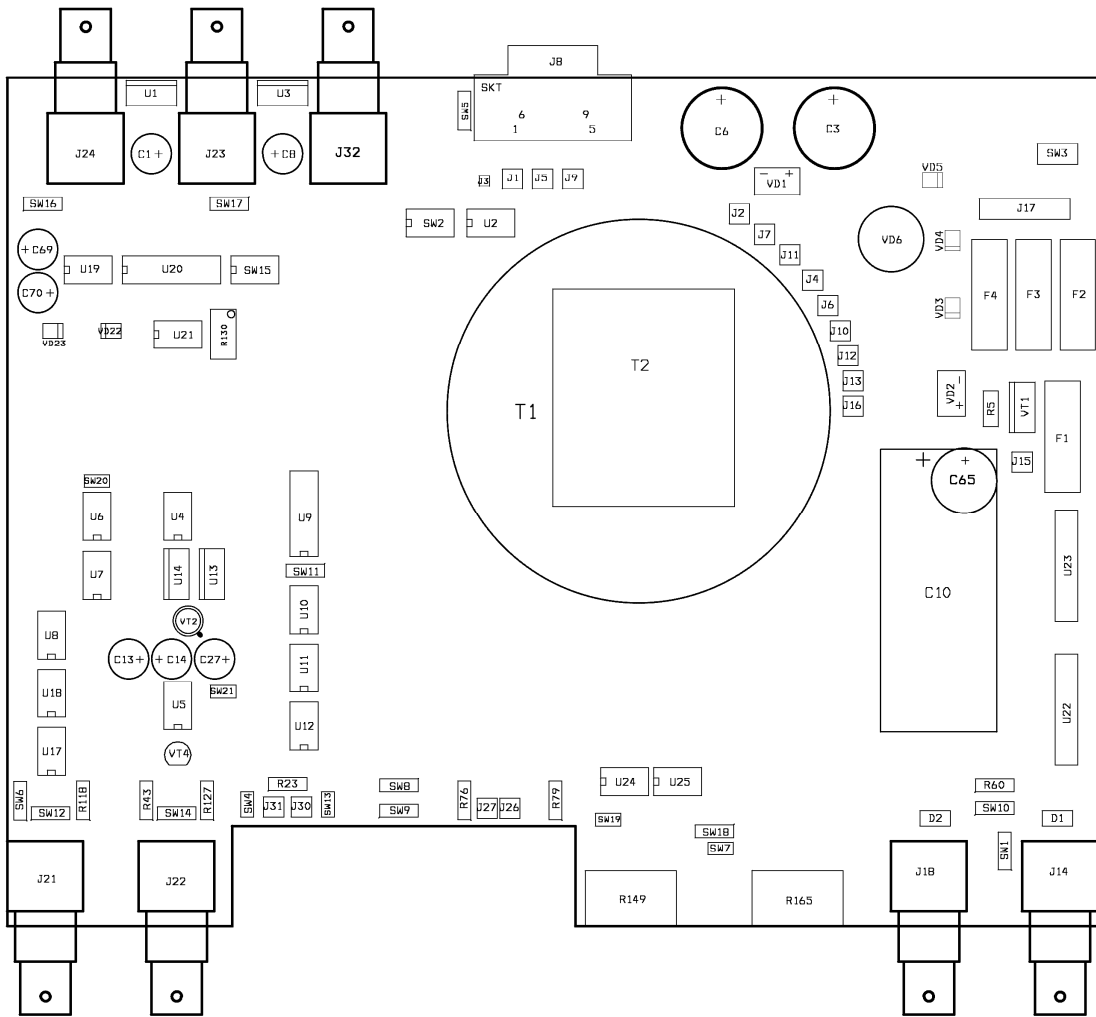


Рис.8. Монтажные схемы LHV160.

8В_{п-п} соединен с разъемом TRIG на задней панели прибора и может использоваться для управления или синхронизации внешних устройств.

Через разъем EXT можно подключить внешний генератор сканирования. Переключатель EXT-INT на задней панели отключает в положении EXT внутренний генератор от управления, при этом выход TRIG дублирует сигнал по входу EXT (синхронизация с осциллографом, например, сохраняется).

Также на задней панели LHV160 расположен разъем MOD, на который выводится при замкнутой переключке SW21 (Ext Mod Рис.4) сигнал генератора опорной частоты. При разомкнутой переключке SW21 на разъем MOD можно подавать внешний сигнал опорной частоты. При этом не рекомендуется, чтобы частота внешнего опорного сигнала отличалась от частоты встроенного генератора более чем на 1 кГц. Это связано с фиксированной настройкой входного полосового фильтра.

Рукоятки управления прибора (регулировки выходного сигнала) расположены в зоне CONTROL (Рис.2). Левая рукоятка GAIN регулирует амплитуду сканирования в режиме SWEEP или усиление в петле обратной связи в режиме LOCK. Правая рукоятка OFFSET устанавливает DC уровень на выходе LHV160 независимо от выбранного режима его работы.

Переключатель SWEEP–LOCK, расположенный над рукоятками управления переключает режимы работы (сканирование частоты или ее стабилизация) блока стабилизации частоты.

Размеры прибора LHV160 245x200x55 мм³, вес – 0.9 кг.

Процедура привязки частоты лазера к оптическому резонансу.

Для того чтобы привязать частоту ECDL-7930R к оптическому резонансу, необходимо выполнить следующую последовательность действий.

1. Выход фотоприемника соединить с входом INPUT блока стабилизации частоты LHV160 и подать его же на вход осциллографа (длинный кабель).

2. Перевести ULDC2807 в режим управления внешним сигналом – установить его переключатель на задней панели в режим EXT и соединить его вход EXT с выходом OUTPUT блока стабилизации частоты (короткий кабель).

3. Соединить выход MODULATION блока стабилизации с входом MOD на задней панели ULDC2807 (короткий кабель).

4. Подать на осциллограф сигналы от блока стабилизации: синхронизации с разъема TRIG и выход синхронного детектора с разъема MONITOR (длинные кабели).

5. Проверить начальное положение рукояток управления, тумблеров и триммеров на панелях всех приборов:

ULDC2807S:

SCAN – первая треть оборота;

LHV160:

INPUT – L (минимальное усиление);
MODULATION – среднее положение;
PHASE – предустановлен;
INTEGRATOR R – L (минимальное значение);
INTEGRATOR C – M (среднее значение);
GAIN P – крайнее левое положение (против часовой стрелки);
GAIN D – крайнее левое положение (против часовой стрелки);
переключатель CONTROL – положение SWEEP;
рукоятка GAIN – среднее положение;
рукоятка OFFSET – среднее положение;
ZERO – предустановлен;
тумблер EXT-INT – INT.

6. Подстроить частоту лазера таким образом, чтобы опорный резонанс при ее сканировании находился в середине диапазона сканирования. В качестве опорного резонанса может выступать линия поглощения в атомной среде или резонанс пропускания интерферометра, как, например, на нижней кривой рисунка 9. Диапазон сканирования выбирается таким, чтобы в него попадал единственный резонанс, к которому может быть привязана лазерная частота.

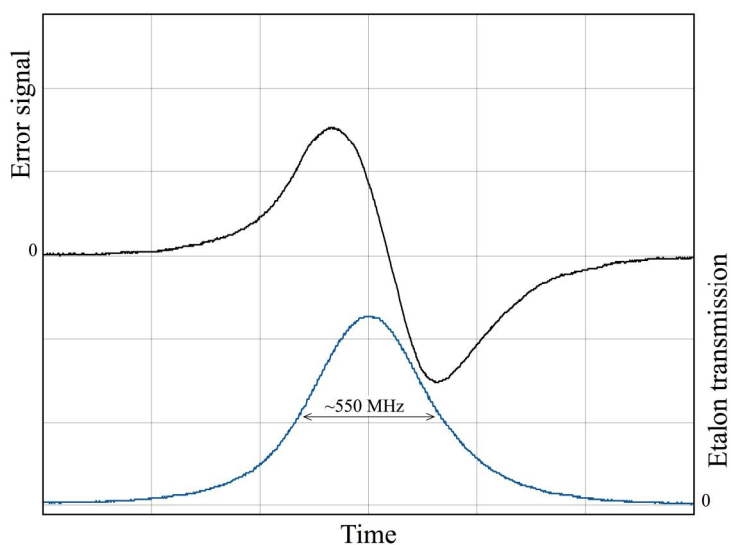


Рис.9. Типовые сигналы при работе блока стабилизации частоты. LHV160 находится в режиме сканирования. Нижняя (синяя) кривая – выход фотоприемника (сигнал на входе INPUT), верхняя (черная) кривая – сигнал на выходе MONITOR.

7. При введенной модуляции лазерной частоты на осциллографе должен наблюдаться сигнал дисперсионной формы с выхода MONITOR (верхняя кривая на Рис.9).

8. Отрегулировать относительную фазу опорного и входного сигналов триммером PHASE до получения максимального размаха сигнала с выхода MONITOR. Для проверки полярности сигнала обратной связи увеличить значение GAIN P (поворачивать по часовой стрелке). Полярность фазы обратной связи выбрана правильно, если опорный резонанс уширяется, а его вершина уплощается. Если резонанс обостряется, то перекинуть тумблер 0–180 в зоне PHASE.

9. Перекинуть тумблер в зоне CONTROL в положение LOCK. Уровень оптического сигнала должен подтянуться к вершине опорного резонанса. Уход с вершины резонанса может быть обусловлен неверно выбранной фазой или избыточным усилением в петле обратной связи.

10. Ввести рукоятку управления GAIN до положения, предшествующего возникновению осцилляций на выходе MONITOR.

11. Триммер D (зона GAIN) должен быть в положении, обеспечивающем максимально эффективное подавление осцилляций, вызываемых завышенной постоянной времени интегратора (избыточным усилением интегратора). Триммер P в оптимальном положении минимизирует ширину шумовой дорожки в сигнале ошибки (выход MONITOR) в режиме захвата.

12. После результативного захвата частоты можно перевести тумблер R из зоны INTEGRATOR в положение H.

Для того чтобы восстановить захват вышедшего из него лазера, достаточно вернуть к исходному положению все элементы из зоны CONTROL и тумблер INTEGRATOR R, а затем повторить пункты 6, 9, 10, 12 из представленной последовательности действий.