

10, октябрь 2015

УДК 629.13.054.6.001.12.001

Модернизация системы регулирования периметра Зеemanовского лазерного гироскопа

*Магомедова Г.М., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы автоматического управления»*

*Научный руководитель: Лукьянов В.В., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы автоматического управления»
bauman@bmstu.ru*

Введение

Особые условия эксплуатации современных навигационных систем на основе лазерного гироскопа (ЛГ) требуют стабильности их параметров в широком диапазоне температур. Стабилизация периметра кольцевого резонатора, необходимая для настройки частоты генерации ЛГ на центр (максимум) кривой усиления при включении и на протяжении всего времени работы, является одной из важных задач. Для решения данной задачи в трехосных ЛГ (для стабилизации периметра резонатора) используется электронный блок системы регулирования периметра (СРП).

Модернизация блока СРП ЛГ заключается в переходе от радиоэлектронных элементов зарубежных производителей к современным радиоэлектронным элементам отечественных производителей. Работоспособность данного блока была проверена на интерактивной модели.

Создание интерактивной модели СРП является важным этапом в проектировании конструкции модернизированного электронного блока. Это обусловлено тем, что данная модель СРП, основанная на взаимодействии конструктора механической части и разработчика электронных модулей, существенно уменьшает временные и денежные затраты на создание экспериментальных образцов и испытания изделия. На начальных стадиях процесса разработки модернизированного блока СРП инженер-разработчик может использовать инструменты моделирования для оценки большинства режимов работы блока в реальных условиях эксплуатации.

Проведено моделирование печатной платы модернизированного электронного блока СРП. Так же проведен сравнительный анализ точностных характеристик трехосного ЛГ с использованием модернизированного блока СРП с точностными характеристиками трехосного ЛГ с использованием штатного блока СРП.

Актуальность импортозамещения радиоэлектронных элементов блока СРП, определяется необходимостью использования в электронных устройствах военного назначения радиоэлектронных элементов отечественного производства. Так же важнейшим условием, определяющим целесообразность импортозамещения, является возможность обеспечения соответствующего уровня качества отечественных аналогов и признание их на внешних рынках.

Актуальность проектирования интерактивной модели, определяется тем, что она позволяет оценить работоспособность электронного блока СРП еще на начальных стадиях его разработки, посмотреть зависимость выходных сигналов от параметров радиоэлектронных элементов и от входных сигналов на электронный блок, симулировать большинство режимов работы устройства, соответствующие реальным условиям его эксплуатации.

Новизна работы заключается в реализации модернизированного блока СРП ЛГ с помощью интерактивной модели.

1. Описание конструкции ЛГ

Зеемановский лазерный гироскоп представляет собой He-Ne-лазер с неплоским контуром, образованным четырьмя диэлектрическими зеркалами. Принципиальная схема такого гироскопа представлена на рисунке 1.

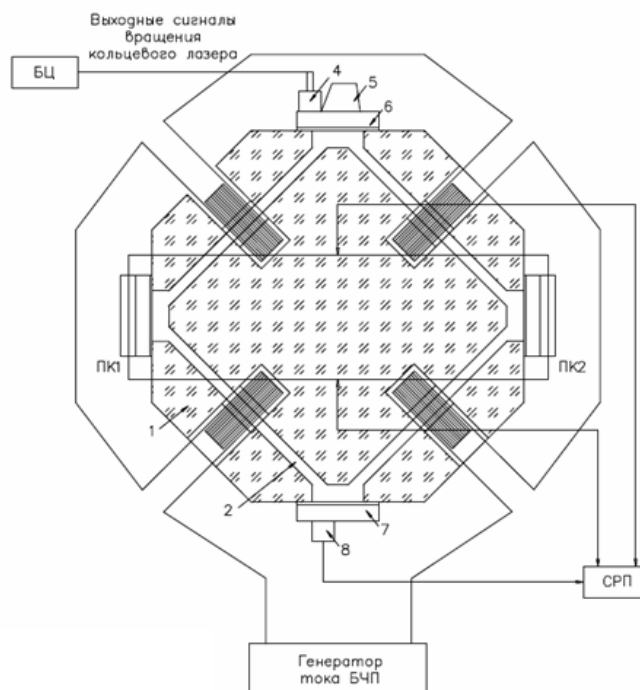


Рис. 1. Принципиальная схема ЗЛГ: 1-ситалловый моноблок, 2-резонатор, ПК1 и ПК2 – пьезокорректоры, 4,8-фотоприемное устройство, 5-смесительная призма, 6-выходное зеркало, 7-сферическое зеркало

Данные гироскопы выполнены из ситаллового моноблока (1) с резонатором квадратной формы (2). На вершинах такого контура установлены зеркала: два одинаковых пьезокорректора (ПК1 и ПК2), сферическое зеркало (7) и плоское зеркало (6). Пьезокорректоры (ПК1 и ПК2) установлены по диагонали резонатора и состоят из двух основных элементов: пьезопривода и зеркала с диэлектрическим отражающим покрытием. Полупрозрачное выходное зеркало (6) служит для вывода интерференционной картины через смесительную призму (5) на выходное двухплощадочное фотоприемное устройство (4), регистрирующее параметры вращения гироскопа. Сферическое полупрозрачное зеркало (7) предназначено для юстировки лазера и вывода одного из двух встречных лучей на фотоприемное устройство (8). Это устройство подключено к входу электронного блока СРП, выход которого соединен с пьезоприводами, которые приводят в движение зеркала, и тем самым стабилизируют периметр резонатора.

2. Описание интерактивной модели блока СРП.

Интерактивная модель электронного блока СРП разработана в программной среде Proteus Professional согласно ее электрической схеме. Модель позволяет исследовать

особенности взаимодействия радиоэлектронных элементов и анализировать влияние изменения входных параметров основных звеньев СРП на выходные сигналы блока.

Электрическая схема блока СРП условно разделена на пять (5) основных участков: предварительный усилитель (ПУ), инвертор, фазо-чувствительный детектор (ФЧД), интегратор и выходной усилитель (ВУ) (рисунок 2).

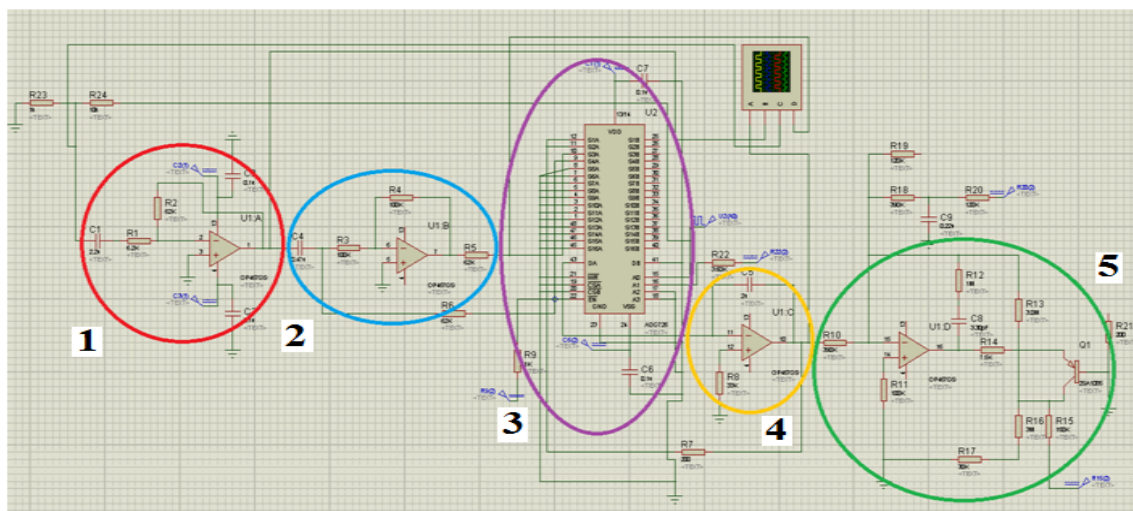


Рис. 2. Электрическая схема интерактивной модели блока СРП:

1-предварительный усилитель, 2-инвертор, 3-фазо-чувствительный детектор, 4-интегратор, 5-выходной усилитель

Предварительный усилитель (участок 1) используют для преобразования сигнала фотоприемного устройства ЛГ в сигнал с уровнем, необходимым для согласованной работы системы.

В данном случае ПУ является инвертирующим с коэффициентом усиления равным 10.

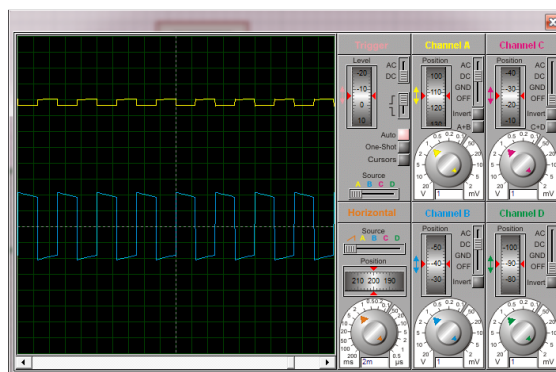


Рис. 3. Осциллограмма участка 1: входной сигнал (желтый) - сигнал расстройки периметра Фп (0,4 В); выходной сигнал (синий) - сигнал с выхода предварительного усилителя (4 В)

Инвертор (участок 2) сдвигает фазу выходного сигнала на 180° относительно входного с ПУ и подает его на ФЧД.

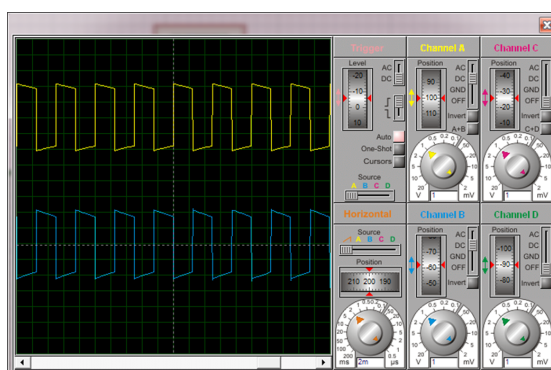


Рис. 4. Осциллограмма участка 2: входной сигнал (желтый) – усиленный сигнал расстройки периметра Фп (4 В); выходной сигнал (синий) – инвертированный сигнал (4 В)

Прямой и инвертированный сигналы подаются на ФЧД (участок 3).

Для реализации ФЧД в блоке СРП используется аналоговый счетверенный мультиплексор с дифференциальным входом-выходом, который участвует в управлении напряжением пьезокерамики. ФЧД сравнивает фазу информативного сигнала с фазой опорного сигнала. На выходе ФЧД мы получаем двухполупериодное выпрямление сигнала.

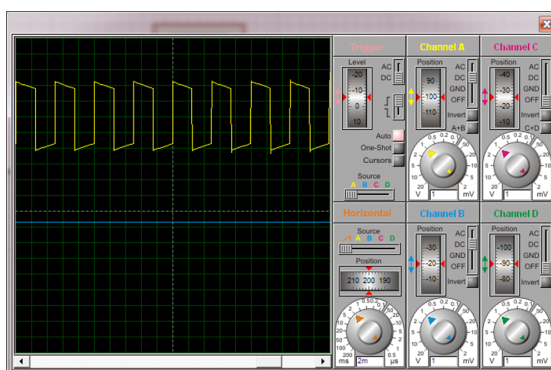


Рис. 5. Осциллограмма участка 3: входной сигнал (желтый) - инвертированный сигнал (4 В); выходной сигнал (синий) - сигнал с выхода ФЧД (0,7 В)

Интегратор (участок 4) формирует сигнал соответствующий значению интеграла сигнала ФЧД по времени с противоположным знаком.

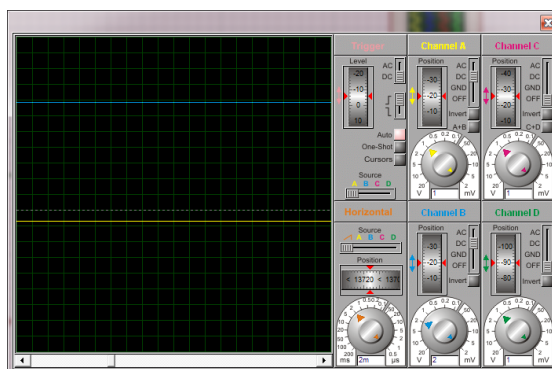


Рис. 6. Осциллограмма участка 4: входной сигнал (желтый) – сигнал с выхода ФЧД (0,7 В); выходной сигнал (синий) - интегрированный сигнал (14 В)

Выходной усилитель (участок 5) усиливает сигнал, поступающий на него с интегратора, и далее сигнал в аналоговой форме напряжения пьезокерамики, пропорциональный амплитуде сигнала расстройки периметра ЛГ, поступает на пьезопроводы, которые приводят в движение глухие зеркала пьезокорректоров. Таким образом, изменяется длина периметра резонатора и тем самым чувствительный элемент (фотоприемное устройство) настраивается на центр кривой усиления.

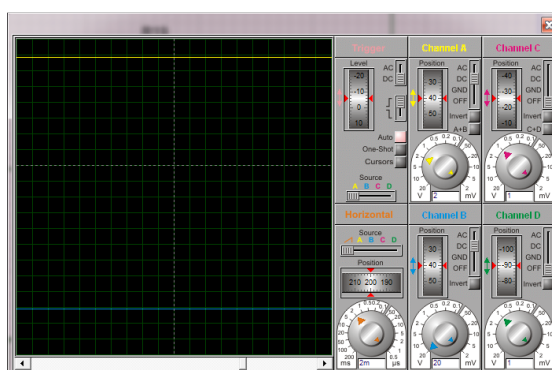


Рис. 7. Осциллограмма участка 5: входной сигнал (желтый) - интегрированный сигнал (14 В); выходной сигнал (синий) - сигнал с выхода ФЧД (180 В)

Из полученных осциллограмм видно, что управляющее воздействие (сигнал расстройки периметра) приводит к формированию электрического напряжения, являющегося сигналом регулирования для пьезодвигателей.

3. Подбор отечественных аналогов радиоэлектронных элементов блока СРП.

В электронном блоке СРП используются радиоэлектронные элементы зарубежных производителей, таких как Bourns (США), AVX (США), Analog Devices (США), Sanyo (Япония). Проведен технический анализ радиоэлектронных элементов отечественных

производителей. В таблице представлены модели наиболее близкие по основным параметрам к элементам, применяемым в штатном блоке СРП.

Тип радиоэлектронного элемента	Название используемой модели	Название отечественной аналоговой модели
Резисторы:	ЧИП 0805, Bourns	P1-12
	ЧИП 1206, Bourns	P1-12
Конденсаторы керамические:	ЧИП 0805, 1206, AVX	K10-79
Микросхемы:	OP 467 GS , AD	544УД16УЗ
	ADG509AKR , AD	590KH36У
Транзистор	2SA1371 , Sanyo	2Т505А

Интерактивная модель СРП показала, что электрическая схема с подобранными аналогичными элементами функционирует в соответствии с предъявляемыми требованиями к блоку СРП.

4. Проектирование печатной платы

Проектирование печатной платы с новыми элементами выполнена в программной среде Altium Designer.

По причине отсутствия готовой библиотеки отечественных элементов для данной программной среды, предстоит ее сформировать. Процесс формирования библиотеки показан на примере создания операционного усилителя 544УД16УЗ (рисунок 8).

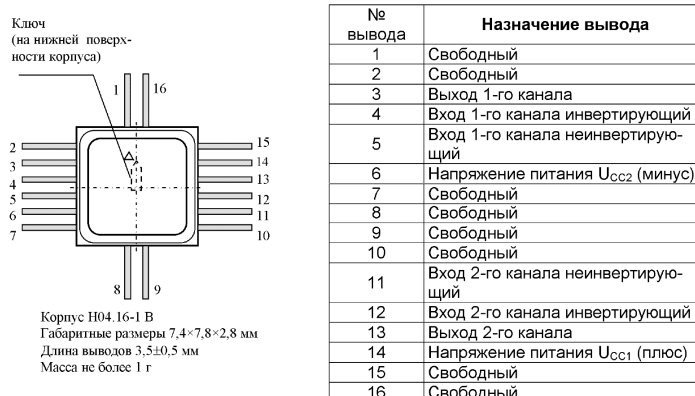


Рис. 8. Основные параметры операционного усилителя 544УД16УЗ

Полное описание электронных компонентов в Altium Designer складывается из трех самостоятельных описаний:

- 1) элемента библиотеки схемных символов *.SchLib
- 2) элемента библиотеки топологических посадочных мест *.PCBLib;
- 3) файлов описания модели - SPICE-модели аналогового компонента, XSPICE-модели цифрового компонента и/или IBIS-модели для анализа паразитных эффектов в печатном монтаже (целостности сигнала). Модель представляет собой иерархическую структуру, объединяющую ссылки на две последние составные части полного описания компонента (рисунок 9).

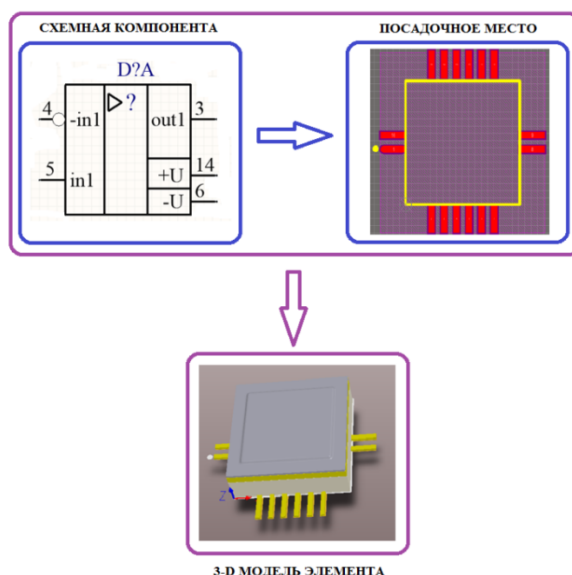
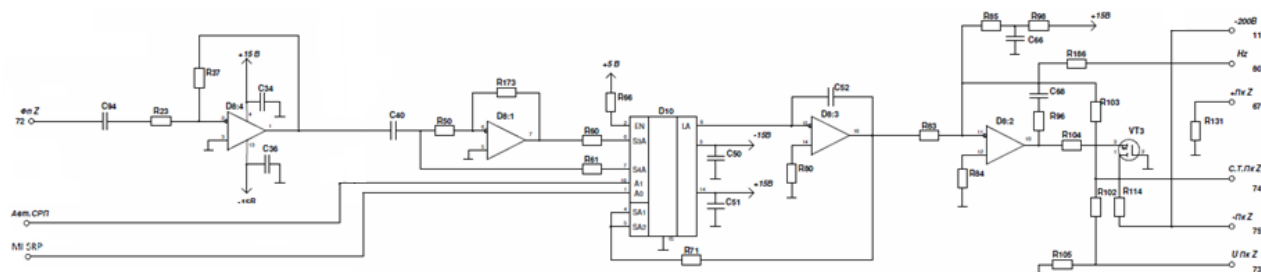


Рис. 9. Процесс формирования библиотеки электронных элементов
на примере создания операционного усилителя 544УД16У3

Созданная таким образом библиотека отечественных элементов используется для формирования электрической принципиальной схемы СРП в окне редактирования принципиальной схемы. Схема после проведения линий связи и редактирования параметров приведена на рисунке 10.



После формирования схемы электронного блока СРП, можно приступить к проектированию печатной платы. Процесс проектирования печатной платы модернизированного блока СРП представлен на рисунке 11.

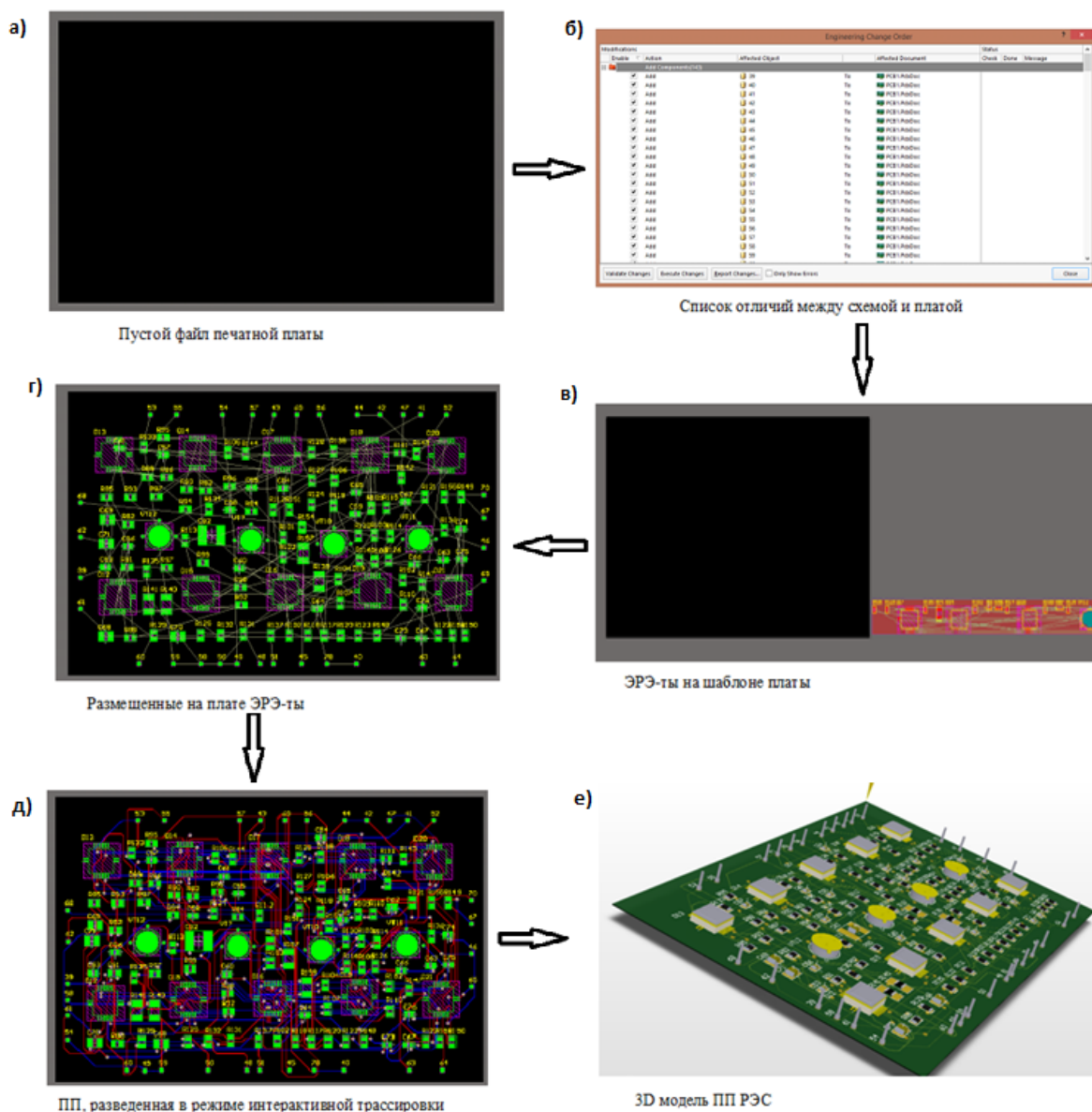


Рис. 11. Процесс проектирования ПП СРП

С помощью мастера печатных плат PCB Board Wizard был сформирован пустой файл (рисунок 11, а) печатной платы по заданным размерам, форме, количеству сигнальных слоев и тд. В данный файл перенесена информация из электрической принципиальной схемы СРП (рисунок 11, б). В результате на пустом шаблоне будут размещены все электро-радио элементы (ЭРЭ) печатной платы (рисунок 11, в).

Основным этапом разработки ПП, который, в общем-то, и определяет, какой будет эта ПП, является процедура расположения ЭРЭ на плате с учетом технического задания и

формирование топологии печатных проводников (рисунок 11, г). Трассировка печатных проводников произведена в интерактивном режиме Walkaround Obstacle (огибание препятствий) (рисунок 11, д). Конечный вид печатной платы модернизированного электронного блока СРП представлен 3D модели ПП (см. рисунок 11, е).

По составленной конструкторско-технологической документации была произведена ПП модернизированного электронного блока СРП.

5. Проведение эксперимента с трехосным ЛГ и анализ результатов

После проверки правильности электрических соединений и монтажа на ПП радиоэлектронных элементов отечественного производства, был собран экспериментальный трехосный ЛГ.

Для проверки точностных параметров и работоспособности прибора при климатических воздействиях используется измерительная схема, приведенная на рисунке 12.

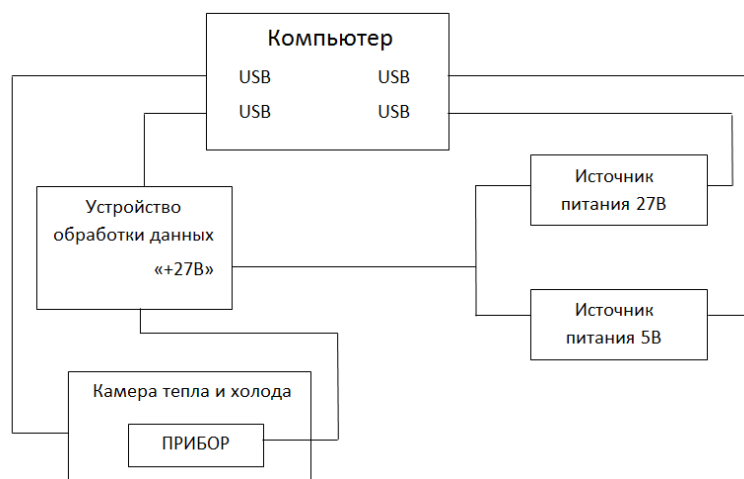


Рис. 12. Измерительная схема для проверки точностных параметров и работоспособности прибора при климатических воздействиях

В ходе экспериментальной работы были проведены 14 реализаций (электро-термо тренировки) при температуре в камере тепла и холода $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, по 7 реализаций при температурах $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$, и по одной реализации на промежуточных температурах: $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Данные испытания необходимы для проверки точностных параметров и работоспособности экспериментального прибора, в состав которого входит штатный электронный блок СРП, при климатических воздействиях.

Так же мной были проведены аналогичные реализации для проверки точностных параметров экспериментального прибора, в состав которого входит модернизированный электронный блок СРП.

Сравнительный анализ полученных результатов показывает, что допустимо применение модернизированного электронного блока СРП в составе трехосного ЛГ. Но поскольку применение штатного блока СРП показывает более точные значения выходных данных трехосного, необходимо продолжить исследовательскую работу по модернизации электронного блока СРП.

6. Заключение

Подробный анализ радиоэлектронных элементов отечественного производства позволил подобрать для каждого элемента зарубежного производства соответствующий аналог с сохранением массогабаритных характеристик всего электронного блока СРП ЛГ.

Значения выходных параметров для экспериментального прибора с использованием модернизированного блока СРП находятся в пределах допустимой нормы.

Технико-экономический анализ элементов СРП ЛГ и характеристик смоделированной печатной платы позволяет говорить о реальности успешного перехода при изготовлении электронного блока СРП ЛГ от радиоэлектронных элементов зарубежных производителей к элементам отечественных производителей. В дальнейшем необходимо продолжить модернизацию электронного блока СРП ЛГ для достижения более точных результатов измерения ЛГ.

Список литературы

1. Сдобняков В.В., Карзанов В.В., Беянина М.Г., Бовкун Л.С. Практикум. Изучение операционного усилителя и схем на его основе с использованием виртуальных приборов LABVIEW. Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2012. 45 с.
2. Азарова В.В., Голяев Ю.Д., Дмитриев В.Г. Кольцевые газовые лазеры с магнитооптическим управлением в лазерной гироскопии // Квантовая электроника. 2000. № 2. С. 96-104.
3. Сабунин А.Е. Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. 432 с.
4. Суходольский В.Ю. Сквозное проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах в САПР Altium Designer 6: учебное пособие. СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008. 148 с.

5. Голяев Ю.Д., Колбас Ю.Ю., Соловьева Т.И. Лазерный гироскоп на Зеемановском кольцевом лазере: методические указания для самостоятельной работы, учебное издание, 2013. 44 с.