



## ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ LiNbO<sub>3</sub>-МОДУЛЯТОРЫ ДЛЯ КОСМОСА

А.Портэ, Ф.Лё Ру, [www.photline.com](http://www.photline.com), Photline

Электрооптические модуляторы (ЭОМ) на основе ниобата лития (LiNbO<sub>3</sub>) обеспечивают не только уникальное сочетание функциональных характеристик, но и стабильную работу в жестких условиях. В статье приведены результаты тестовых испытаний на возможность эксплуатации ЭОМ на основе LiNbO<sub>3</sub> в условиях космического пространства.

Оптоэлектронная техника, ее функциональные узлы и компоненты все активнее используются в высокотехнологичных отраслях промышленности. В особенности это относится к технике, эксплуатирующейся в космосе, которая требует универсальности и надежности оптоэлектронных систем для реализации множества важнейших функций, необходимых для безопасного и длительного функционирования.

Во многих оптоэлектронных системах, работающих на борту космических аппаратов, используются модуляторы света, являющиеся ключевым компонентом для модуляции фазы и интенсивности различных источников света с разными длинами волн. В частности, электрооптические модуляторы (ЭОМ) на основе ниобата лития (LiNbO<sub>3</sub>) обеспечивают не только уникальное сочетание производительности, но и стабильную работу в жестких условиях космического пространства.

### LiNbO<sub>3</sub>- И ДРУГИЕ МОДУЛЯТОРЫ

Модуляторы на основе ниобата лития – одни из многих оптоэлектронных модуляторов, разработанных за последние годы. Модуляторы на основе других материалов (InP, GaAs) также использовались для изготовления внешних модуляторов. Первоначально развитию разработок в области их создания способствовала потребность в них рынка оптоволоконных телекоммуникационных систем, когда требовалась более высокая скорость модуляции. На сегодняшний день использование электрооптических модуляторов (ЭОМ) не ограничивается телекоммуникационными системами. Преимущества и недостатки основных серийно производимых оптических модуляторов

## LiNbO<sub>3</sub> MODULATORS FOR SPACE ENVIRONMENT

Henri Porte (Photline CEO),

Philippe Le Roux (Photline Sales and Marketing Manager)

Photonics systems, sub-systems and components are found in an increasing number of applications of many high technology industry segments. This remark applies particularly to space-embarked systems, which rely on the versatility and reliability of photonic systems to realize many of the critical functions needed to insure their safe and durable operation.

Many embarked space photonic systems use light modulators as a key component to achieve intensity or phase modulation of various light sources at different operating wavelengths: In particular, the electro-optic lithium niobate (LiNbO<sub>3</sub>) modulators offer a unique combination of performance that makes them prime candidates, not only to satisfy the optical system specifications, but also to meet the tough requirements of space operation.

### LiNbO<sub>3</sub> MODULATORS AND OTHER ELECTRO-OPTIC MODULATORS

The LiNbO<sub>3</sub> based modulator is one of the many optical modulators that have been developed in recent years. Other materials (e.g., InP, GaAs) based modulators have been also used to make external light modulators. Initially, the development of these modulators was driven by the fiber optic telecommunication market, that needed ever increasing modulation speeds. Today, E-O modulators are used in a large number of both telecom and non telecom applications. The benefits and drawbacks of the main optical commercially available modulators are contrasted in the table below: It is clear that the LiNbO<sub>3</sub> E-O modulator offers the most attractive combination of performance, versatility and cost.

For space applications, the accumulated number of hours of operation and the proven reliability of LiNbO<sub>3</sub> modulators make them a very attractive choice compared with products issued from competing technologies.

In addition, the LiNbO<sub>3</sub> modulators, beside their long standing proven record of use in many applications, and their many comprehensive successful qualifications (e.g., Telcordia) offer both



представлены в табл. 1. С первого взгляда очевидно, что ЭОМ на основе ниобата лития – наиболее оптимальные модуляторы в отношении производительности, функциональности и стоимости.

В сфере космической техники высокая надежность  $\text{LiNbO}_3$ -модуляторов, подтверждаемая безотказной работой в течение многих часов, позволяет утверждать, что данная технология является наиболее передовой. Кроме того, дополнительными преимуществами  $\text{LiNbO}_3$ -модуляторов, наряду с большим опытом их использования во многих приложениях и успешными сертификационными испытаниями (например, в Telcordia), являются широкая пропускная способность (от 780 нм

а large optical bandwidth, ranging from 780 nm to 2500 nm, and a very broad electro-optic modulation bandwidth (>40GHz).

Thanks to their unique combination of performance,  $\text{LiNbO}_3$  modulators are used in very diverse space applications that include navigation, measure-countermeasure, telecommunications, sensing, etc.

## APPLICATIONS OF $\text{LiNbO}_3$ MODULATORS IN SPACE

### Fiber optic gyroscopes

Fiber optics gyroscopes (FOGs) are high performance sensors (fig.1) used in demanding navigation systems. It is now proven that they can overtake the

**Таблица 1.** Сравнительные характеристики технологий изготовления ЭОМ

**Table 1.** Comparison of E-O light modulator technologies

Преимущества / Benefits	Недостатки / Drawbacks
<b>Полимерные модуляторы (полимер на кремнии) / Polymer Modulators (polymer on silicon)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Низкая стоимость</li> <li>Potentially low cost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>В связи со "старением" полимера возникает проблема снижения срока службы устройства</li> <li>В настоящий момент доступна только одна длина волны излучения (1550 нм) при передаче данных</li> <li>Только один коммерческий поставщик</li> <li>Никаких существенных преимуществ в производительности</li> <li>Aging of the polymer is a question mark as far the long term reliability of the device is concerned</li> <li>Only telecom <math>\lambda</math> (1550nm) as of today</li> <li>Only one commercial vendor</li> <li>No significant performance benefits</li> </ul>
<b>Полупроводниковые модуляторы (на основе арсенида галлия и фосфида индия) Semiconductor modulators (GaAs &amp; InP)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Несколько надежных поставщиков</li> <li>Малые габариты (для модуляторов на основе InP)</li> <li>Хорошая надежность</li> <li>Several established vendors</li> <li>Small footprints for InP</li> <li>Expected good reliability</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Работа только на одной длине волны (1310 или 1550 нм)</li> <li>Высокий уровень потерь сигнала</li> <li>Флуктуации длины волны</li> <li>Ограничение полосы пропускания у InP-модуляторов</li> <li>Restricted to 1310 nm / 1550 nm</li> <li>High insertion loss as standalone modulator</li> <li>Some chirp issues</li> <li>Limitations of bandwidth with InP</li> </ul>
<b>Кремниевые модуляторы / Silicon Photonic modulators</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Очень малые размеры</li> <li>Very small footprint</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Недостаточно отработанная технология</li> <li>Только один поставщик</li> <li>Применение ограничивается только системами передачи данных</li> <li>Очень высокий уровень потери сигнала</li> <li>Not a mature technology</li> <li>Only one vendor</li> <li>Restricted to datacom</li> <li>Very high insertion losses</li> </ul>
<b>Модуляторы на основе ниобата лития / <math>\text{LiNbO}_3</math> modulators</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Отработанная технология (изготовлено <math>\approx 100</math> тыс. устройств, выпуск налажен с середины 90-х)</li> <li>Высокая надежность</li> <li>Применяются в космосе</li> <li>Несколько надежных поставщиков</li> <li>Возможность работы на различных длинах волн</li> <li>Mature technology (x100 thousands of operating devices since the mid-90's)</li> <li>Proven reliability</li> <li>Already in space</li> <li>Several well established vendors</li> <li>Choice of commercially available wavelengths</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Средние габариты</li> <li>Larger footprint</li> </ul>

до 2500 нм) и большая ширина полосы частот модуляции (более 40 ГГц). Благодаря превосходной производительности  $\text{LiNbO}_3$ -модуляторы используются в самых разнообразных космических технологиях, включая навигацию, противорадиолокацию, телекоммуникацию, системы считывания и др.

### ПРИМЕНЕНИЕ $\text{LiNbO}_3$ -МОДУЛЯТОРОВ В КОСМОСЕ

#### Волоконно-оптические гироскопы

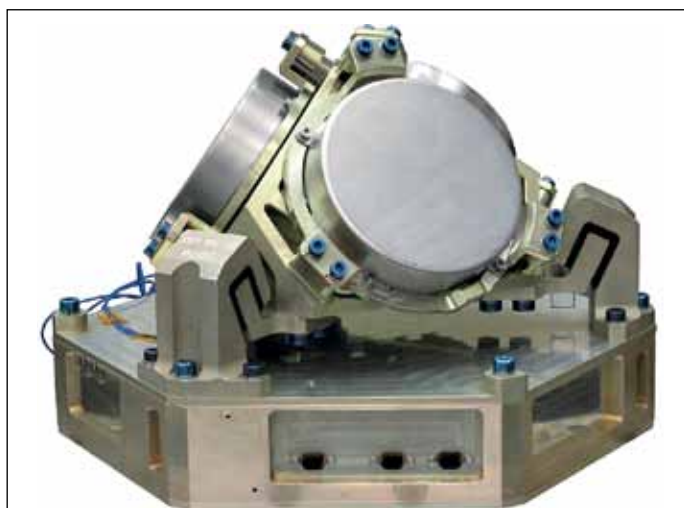
Волоконно-оптические гироскопы (ВОГ) – это высокопроизводительные датчики (рис.1), применяемые в системах навигации. В настоящее время доказано, что в отношении производительности они могут обойти классические лазерные гироскопы. Помимо этого, ВОГ более компактны, обладают меньшими значениями массогабаритных характеристик и более приемлемы по цене. В настоящий момент системы с точностью порядка  $0,001^\circ\text{C}/\text{ч}$  и лучше стали коммерчески доступными, а навигационные системы на основе ВОГ используются в спутниках с 2010 года. В эти модули ВОГ интегрированы разработанные под заказ фазовые  $\text{LiNbO}_3$ -модуляторы.

#### Системы межспутниковой связи

Внедрение систем межспутниковой связи началось в 90-е годы с использованием лазерных диодов с прямой модуляцией, работающих на длинах волн порядка 820–850 нм. С появлением волоконных лазеров, работающих в ближней ИК-области спектра, а также благодаря доступности  $\text{LiNbO}_3$ -модуляторов в этой полосе частот, стало возможным устанавливать связь между космическими аппаратами, используя более эффективную модуляцию (рис.2). Это позволило увеличить скорость передачи данных и уменьшить коэффициент битовой ошибки.

#### Оптические приборы для научных задач

Свет может быть использован для измерения большинства физических величин, поэтому многие научные спутники оснащены оптическими приборами. В качестве примера можно назвать несколько объединенных внешних модуляторов, в частности, проект GRACE-FO (The Gravity Recovery and Climate Experiment Follow-on). Его цель – картирование силы земного тяготения. Проект GRACE-FO по изучению климата и гравитационных возмущений – это продукт сотрудничества между NASA и Геолого-геофизическим научно-исследовательским центром Германии.



**Рис.1.** Трехосевой волоконно-оптический инерциальный измерительный модуль серии ASTRIX производства фирмы AIRBUS DEFENCE & SPACE. Устройство предназначено для длительной эксплуатации; в датчик по каждому направлению встроен  $\text{LiNbO}_3$  модулятор; все оптоэлектронные и оптические компоненты соответствуют стандарту HiRel Telecom (SCC-B или эквивалентный)  
**Fig. 1.** A three axis ASTRIX Fibre Optic Inertial Measurement Unit from AIRBUS DEFENCE & SPACE (formerly ASTRUM). This unit is designed for long lifetime mission. Each axis uses a  $\text{LiNbO}_3$  modulator. All opto-electronics and opto components are fully compliant to HiRel Telecom satellite standard (SCC-B or equivalent)

performance of classical laser gyroscopes, with the benefit of a smaller footprint, lower weight and lower cost. Systems with accuracy better than  $0.001^\circ\text{C}/\text{hour}$  are commercially available, and FOGs based navigation systems have been used in satellites since 2010. These FOG modules integrate custom designed  $\text{LiNbO}_3$  phase modulators.

#### Inter-satellite communications

Free-space optical communication has been implemented between satellites since the 90's using directly modulated high power laser diodes at 820–850 nm. The emergence of fiber lasers in the near infrared and the availability of  $\text{LiNbO}_3$  modulators in this band have made possible space optical links (fig. 2) using more efficient modulation formats and offering improved data rates and BER.

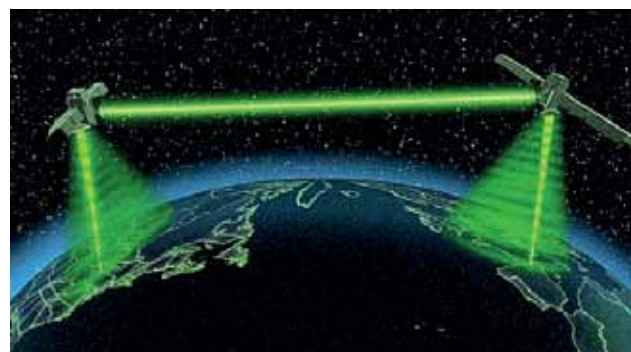
#### Optical instruments for scientific missions

Light can be used to measure many physical quantities, therefore one can see many scientific satellites with optical instruments on board. Some incorporate external modulators; GRACE-FO mission whose task is to map the Earth gravity is an example.

GRACE-FO является продолжением первоначальной миссии GRACE1. GRACE-FO создается для улучшения уже довольно высокой точности измерительной системы GRACE1.

Основная задача проектов серии GRACE – измерение флуктуации силы тяготения над земной поверхностью. Одним из результатов работы проекта стала карта распределения гравитационного поля, обновляемая каждые 30 дней. Таким образом, система GRACE1 показывает величину гравитации не только в зависимости от координаты, но и от времени.

В системе GRACE1 для формирования карты гравитации используется метод объединения информации с двух практически одинаковых спутников. Один спутник следует за другим по той же орбите, при этом происходит постоянное измерение расстояния между спутниками с использованием устройств, работающих в СВЧ-диапазоне. Два спутника GRACE-FO будут работать принципиально по той же схеме с использованием излучателей в том же микроволновом диапазоне, что и в GRACE1, однако планируется запуск дополнительной экспериментальной системы с использованием лазеров, что гипотетически позволит улучшить точность измерения расстояния между



**Рис.2.** Макет оптической линии спутниковой связи  
*Fig. 2. Artist's view of FSO (Free Space Optics) communication demonstrations*

The Gravity Recovery and Climate Experiment Follow-on (GRACE-FO) mission is a partnership between NASA and the German Research Centre for Geosciences (GFZ). GRACE-FO is a successor to the original GRACE1 mission and is designed to dramatically improve the already remarkable precision of its measurement system.

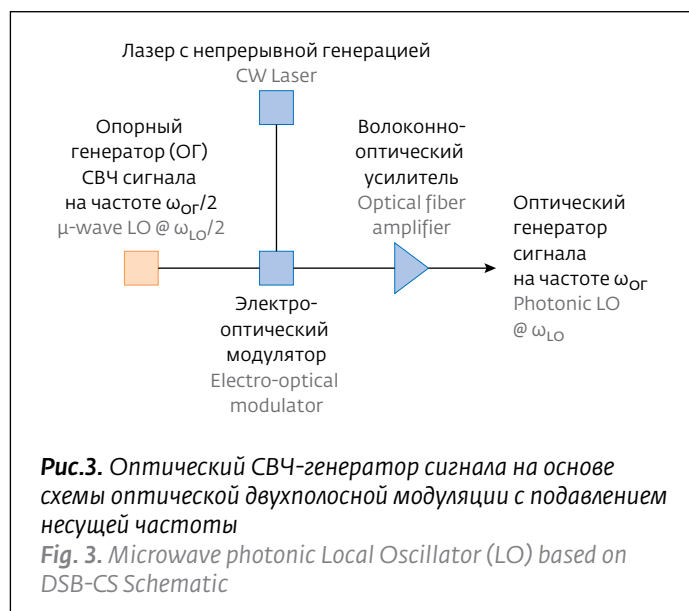
The GRACE missions measure variations in gravity over Earth's surface, producing a new map of the gravity field every 30 days. Thus, GRACE1 shows

спутниками в 20 раз. Фазовые модуляторы будут использоваться для стабилизации резонаторов в оптической системе. Запуск спутников намечен на 2017 год.

### Микроволновая фотоника для бортовых спутниковых подсистем (проект)

За последние несколько лет производителями спутниковых систем связи были проанализированы инновационные концепции так называемой полезной нагрузки (аппаратуры космических аппаратов), основанной на технологиях фотоэлектроники. За это время были разработаны несколько типов архитектуры бортовых спутниковых подсистем, охватывающие различные области применения, включая аналоговые усилители на базе фотонных устройств, а также тюнеры для продвинутых антенных устройств, в которых реализованы цифровые методы формирования диаграммы направленности. Работу подобной архитектуры обеспечивают фотонные подсистемы, выполняющие вспомогательные дополняющие функции, способные заменить и расширить возможности радиочастотных подсистем. В число этих функций входят:

- оптическая генерация/распределение излучения от гетеродинов;
- преобразование (повышение или понижение) радиочастот;
- маршрутизация  $\mu$ -волновых сигналов в трансляторах;
- интеграция фотоэлектронных устройств в системы формирования диаграммы направленности луча;



how the planet's gravity differs not only from one location to another, but also from one period of time to another.

For GRACE1, the method to map gravitational fields consists of two nearly identical satellites. One follows the other along the same orbit as both continually measure the distance between them by means of microwave ranging instruments.

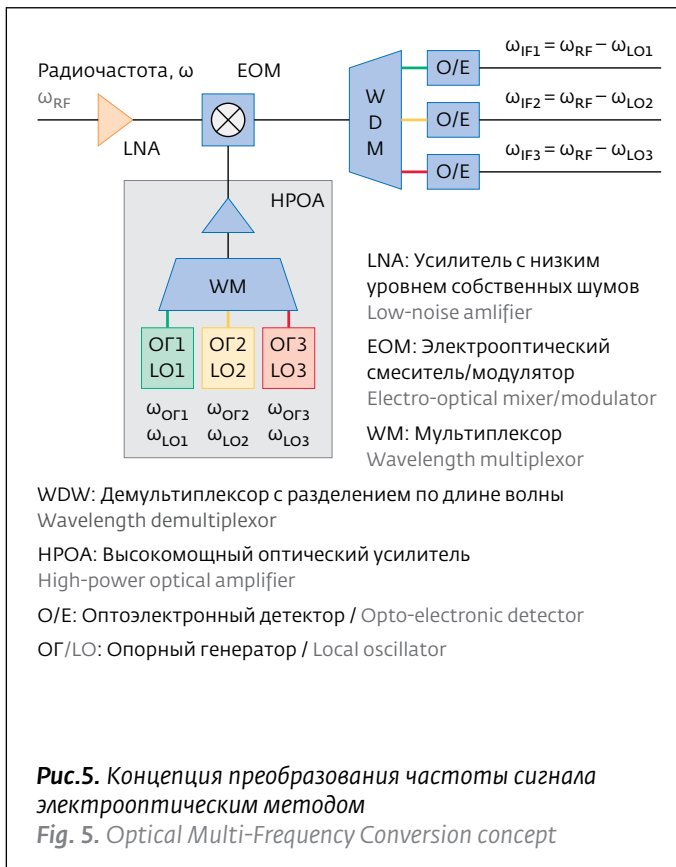
The two GRACE-FO satellites will use the same kind of microwave ranging system as GRACE1, and so can expect to achieve a similar level of precision. But they will also test an experimental instrument using lasers instead of microwaves, which promises to make the measurement of their separation distance at least 20 times more accurate. Phase modulators are used to stabilize the laser cavities of the optical range finding system. The two satellites should to be launched in 2017.

### Microwave photonic payload sub-systems (project)

Over the past few years, innovative payload concepts based on photonic technologies have been investigated by the manufacturers of communications satellites. Several architectures were elaborated covering different application cases including flexible analogue repeaters based on a photonic center section, and photonic receiver front-ends for advanced antennas allowing digital beam forming. Such architectures rely on photonic subsystems able to assist, complement, replace and/or extend the capabilities of conventional RF subsystems including:

- Optical generation/distribution of microwave Local Oscillators (LO).
- Photonic RF frequency up and down conversion.
- Routing of  $\mu$ -wave signals in repeaters.
- Photonic assisted beam forming networks.
- Optical sampling for analog to digital conversion.

Optical modulators play a key role in the implementation of such functions.



**Рис.6.** Модернизированная система GRACE-FO будет состоять из двух орбитальных спутников, работающих как одна система (как и система GRACE1)

*Fig. 6. Like GRACE1, the follow-on mission will consist of two spacecrafts orbiting Earth in tandem*

For instance, the optical distribution of LO's requires production of a microwave LO signal to be produced under optical form, with low phase noise and optical power high enough to be delivered to a large number of receivers while meeting system

**Таблица 2.** Результаты тестовых испытаний на возможность эксплуатации ЭОМ на основе LiNbO<sub>3</sub> в условиях космического пространства**Table 2.** Environmental tests to obtain the space qualification results

Испытание Tests	Номер испытания Reference	Условия тестирования Conditions
Протонное облучение Protons radiation	MIL-STD-883H Method 1019.8	Энергия кванта 60 МэВ Energy = 60 MeV
Гамма-облучение Gamma radiation	MIL-STD-883H Method 1019.8	Полная поглощенная доза излучения 100 кРад TID (Total ionizing Dose) 100 Krad
Непериодические колебания Random vibration	MIL-STD-883 Method 2026 Condition F	20–60 Гц +6 дБ/октава 60–500 Гц Спектральная плотность ускорения, 35 г <sup>2</sup> /Гц 500–2000 Гц –6 дБ/октава 20–60 Hz +6dB/octave 60–500 Hz PSD = 1.35 г <sup>2</sup> /Hz 500–2000 Hz –6 dB/octave
Гармонические колебания Sine vibration	ECSS-E-10-03A Subclause 5.1.10	Диапазон частот от 5 до 100 Гц Frequency Range 5–100 Hz
Механические удары Mechanical shocks	MIL-STD-883 Method 2002 Condition A	5 раз/ось, максимальное ускорение 500 g 5 times/axis, Acceleration <sub>max</sub> = 500 g
Постоянное ускорение Constant acceleration	MIL-STD-883 <sup>E</sup> METHOD 2001.2	По 6 осям (3 линейные и 3 угловые), время каждого испытания 1 мин вдоль/вокруг каждой оси, ускорение варьируется от 5 до 125 g (в рамках одного эксперимента величина ускорения постоянная) 6 axis, 1min/axis, Test condition & stress level from 5 to 125 g
Напуск влажного горячего воздуха Damp Heat	MIL-STD-202 Method 103 or IEC 68–2–3	Температура 85 °С, относительная влажность = 85% Temperature = 85°C Relative Humidity = 85%
Термоциклирование в вакууме Vacuum thermal cycling	–	Минимальная температура –20 °С, максимальная температура 70 °С, давление 0,1 мбар, 50 циклов T <sub>min</sub> = –20 °C, T <sub>max</sub> = +70 °C, 0.1 mbar, 50 cycles
Термоциклирование при атмосферных условиях Air thermal cycling	–	Минимальная температура –40 °С, максимальная температура 85 °С, 500 циклов T <sub>min</sub> = –40 °C, T <sub>max</sub> = +85 °C, 500 cycles
Ресурсные испытания в вакууме Vacuum life test	–	Температура 60 °С, давление 10 <sup>–7</sup> мбар, продолжительность 720 ч Temperature = 60 °C, 10 <sup>–7</sup> mbar, Duration = 720 h
Ресурсные испытания при атмосферных условиях Air life test	ESCC Basic Spec. 9000 MIL-STD-883, Test Method 1005	Температура 85 °С, продолжительность 2000 ч Temperature = 85°C, duration = 2000 h
Хранение при повышенных температурах High temperature storage	–	Максимальная температура 85 °С, продолжительность 2000 ч Max. storage T = 85°C, 2,000 hrs.
Хранение при пониженных температурах Low temperature storage	–	Минимальная температура –40 °С, продолжительность 2000 ч Min. storage T = –40°C, 2,000 hrs.
Визуальный осмотр External Visual Inspection	MIL STD 883H, method 2009.10	Оценка внешнего вида и качества изготовления (гибкие кабели, оптические и электрические разъемы) To assess overall exterior quality and workmanship (pigtailed, optical & electrical connectors, etc.).
Контроль образца рентгенопросвечиванием на предмет дефектов X-Ray Inspection	MIL STD 883H, method 2012.8	Метод неразрушающего контроля для определения внутренних дефектов To non-destructively detect internal defects
Проверка герметичности и анализ газов, выделяющихся материалами, входящими в состав конструкции ЭОМ Hermeticity and Internal Vapor Analysis	MIL-STD-883H Method 1014.13 conditions C1 and A1	Слабое натекание, сильное натекание, оценка целостности корпуса, анализ газов, выделяемых материалами образца Fine leak, gross leak, to quantify package integrity and internal atmosphere
Приложение тянущего усилия к оптоволоконному кабелю Pigtails side pull	Telcordia GR-1209-CORE	Проверка надежности крепления кабеля To ensure the attachment of the fiber pigtail to the package.
Визуальный осмотр внутренней части конструкции ЭОМ Internal Visual Inspection	MIL STD 883H, method 2017 MIL STD 883H, method 2010.12	+ осмотр соединений микросхема/оптоволокно + inspection of connections chip/fiber
Проверка прочности выводов Bond Strength	MIL STD 883H, method 2011.8	Испытание проволочных выводов на отрыв Destructive bond pull test



Испытание Tests	Номер испытания Reference	Условия тестирования Conditions
Проверка прочности посадки микросхем и других элементов Die shear strength (chip, alumina, etc)	MIL STD 883H, method 2019.18 MIL STD 883H, method 2027.2	Определение целостности крепления чипов, микросхем и пассивных элементов к плате To determine the integrity of materials and procedures used to attach die or surface mounted passive elements to package headers or other substrates.
Продольный срез, внутренний визуальный осмотр с помощью оптической микроскопии и сканирующей электронной микроскопии Longitudinal cut, Internal Visual Inspection via Optical Microscopy and Scanning Electron Microscopy (SEM)	—	Оценка качества пассивации, металлизации, крепления электронных компонентов To evaluate the quality of passivation, metallization and other die related components
Тест на накопление статического электричества ESD	TR-870 Sec. 4.2.3	—
Тестирование в режиме усиления оптической мощности Failure mode optical power (destructive)	—	Повышение оптической мощности до отказа устройства Ramp of optical power until failure
Тестирование в режиме усиления мощности опорного сигнала Failure mode microwave power (destructive). RF electrodes	—	Повышение мощности опорного сигнала до отказа устройства Ramp of electrical power until failure
Тестирование в режиме усиления мощности питания Failure mode DC voltage DC electrodes (destructive)	—	Повышение мощности питающего напряжения до отказа устройства Ramp of electrical DC voltage until failure
Тестирование на газовыделение Outgassing tests	ECSS-Q-ST-70-02C	—
Анализ остаточных газов Residual gas analysis	MIL-STD-883C method 1014	—



# Точность – основа всего, что мы создаем

Акустооптика | Электрооптика |  
Волоконная оптика | Прецизионная оптика |

**Передовые решения в области фотоники для**  
оборонных и аэрокосмических применений,  
промышленности, биомедицины и научных  
исследований



Официальный дистрибьютор Gooch & Housego в России и СНГ  
г. Санкт-Петербург, Биржевая линия, 14-16

Тел: +7 (812) 385-72-97

Факс: +7 (812) 385-76-48

info@sphotonics.ru

www.sphotonics.ru



INTERNATIONAL  
YEAR OF LIGHT  
2015



- оптическая выборка для аналого-цифрового преобразования.

Оптические модуляторы играют ключевую роль в реализации указанных функций. К примеру, эффективное оптическое распределение сигнала от опорных генераторов требует низкой флуктуации фазы генератора, а также достаточной мощности источника оптического излучения для передачи сигнала нескольким приемникам. Метод передачи высокочастотного сигнала по ВОЛС через модуляцию тока накачки лазера (прямой метод) не осуществим на высоких частотах. В такой ситуации требуется внешний электрооптический модулятор. В частности, на рис.3 представлена схема метода оптической двухполосной модуляции с подавлением несущей частоты. В ней используется лазер с непрерывным излучением высокой мощности, а также ЭОМ, настроенный таким образом, что излучение на выходе имеет низкую интенсивность. При управлении модулятором с помощью опорного СВЧ-сигнала с частотой  $\omega_{\text{ог}}/2$  оптический сигнал на выходе содержит две полосы боковых частот. Частота сигнала с фотоприемника соответствует  $\omega_{\text{ог}}$ .

Также использование ЭОМ (рис.4) позволяет повышать или понижать частоту радиосигнала. Кроме широкой полосы пропускания и возможности изоляции неограниченного количества входных портов важной особенностью ЭОМ является способность выполнять одновременно несколько частотных преобразований. Данная концепция проиллюстрирована на рис.5, где сигнал от оптического генератора с разными частотами подается на мультиплексор. В итоге, подавая на ЭОМ сигнал опорной частоты и усиленный сигнал от мультиплексора, на выходе после демultipлексирования получают набор сигналов с частотами, величины которых соответствуют разнице частот опорного сигнала и сигнала оптического генератора.

### ТЕСТОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАЗРЕШЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАТЬ МОДУЛЯТОРЫ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Однако хорошие технические параметры не являются достаточным условием для использования ЭОМ в космосе. Необходимы еще и комплексные испытания. Они включают в себя радиационные испытания, испытания на ударопрочность и вибростойкость, климатические испытания, имитирующие эксплуатацию в условиях вакуума, циклические испытания в условиях высокой



**Рис.7.** Терминал лазерной связи (ТЛС) производства TESAT-SPACECOM (Германия). Устройство работает как фазовращатель, совмещающий модуляцию вместе с когерентным обнаружением  
*Fig. 7. A Laser Communication Terminal (LCT) from the German space equipment supplier TESAT-SPACECOM. This LCT implements external phase shift keying modulation together with coherent detection*

requirements. The transfer of a high-frequency signal onto an optical carrier through direct modulation of the laser current is not applicable at high frequencies, and requires external electro-optic intensity modulators. In particular, optical double sideband modulation with carrier suppression (DSB-CS) is an LO generation technique making use of a high-power CW laser and a MZ electro-optic modulator (EOM) biased at minimum optical transmission, as shown in Figure 3. When the modulator is driven by a microwave signal at  $\omega_{\text{LO}/2}$  frequency, the optical output signal mainly contains the first two modulation side bands. Optical heterodyning at the photo receiver generates a microwave signal at the  $\omega_{\text{LO}}$  frequency.

Photonic RF frequency mixing for both up and down conversion of microwave signals can be achieved optically by means of EOMs (fig.4). In addition to a very wide bandwidth and an infinite LO to RF input port isolation, a remarkable feature of electro-optical mixing is its ability to perform simultaneously multiple frequency conversions. In this concept, shown in Figure 5, the optical mixer is fed by several optical LO's through wavelength-division-multiplexing (WDM). In this way, the RF signal at the  $\omega_{\text{RF}}$  frequency driving the modulator is mixed to the different LO's and frequency-converted to several signals at various  $\omega_{\text{IF}}$  frequencies.



влажности и изменяющихся температур, тест на накопление статического электричества, проверку герметичности, количественный анализ выделяемых веществ из материалов, входящих в состав ЭОМ, разрушающий физический анализ. Результаты по всем проведенным экспериментам приведены в табл. 2.

### LiNbO<sub>3</sub>-МОДУЛЯТОРЫ ПРОИЗВОДСТВА PHOTLINE ДЛЯ КОСМОСА

За последние годы в компании Photline были проведены интенсивные тестовые эксперименты и разработаны методы улучшения конструкции ЭОМ для эксплуатации в условиях космического пространства.

В 2014 году в корпорацию NASA компания поставила восемь модуляторов, двое из которых интегрированы в систему GRACE-FO (напомним, ее запуск намечен на 2017 год, рис.6). Данные модуляторы планируется встроить в конструкцию уже действующих оптоволоконных гироскопов.

Кроме того, в 2014 году Photline подписала крупный контракт с компанией TESAT-SPACECOM (рис.7) по разработке и поставке модуляторов для терминалов лазерной связи, которые должны использоваться в системах межспутниковой связи. ■

### ENVIRONMENTAL TESTS TO OBTAIN THE SPACE QUALIFICATION

To obtain their visa for space, beside the specific performance required for each application, external optical modulators have to pass a comprehensive environmental test program which includes radiation tests, vibrations and shocks, vacuum operation tests, damp heat operation tests, temperature cycling, ESD tests, hermeticity tests, outgassing analysis, and destructive physical analysis (DPA).

This is summarized in the table 2.

### MODULATORS FOR SPACE AT PHOTLINE

Over the past years, intensive design works and test programs have been conducted at Photline to improve the environmental performance of the modulators and to make them compatible with space applications.

In 2014, eight modulators were delivered to NASA: Two (2) of them are being integrated in the GRACE-FO (fig.6) tandem satellites and will fly in 2017, where they will join in space dozens of company modulators already operating in fiber gyroscopes.

In 2014 as well, Photline received a significant contract from TESAT-SPACECOM (fig.7) to design and deliver modulators for Laser Communication Terminals used for inter-satellite free-space communications. ■



Центр Международной Торговли Челябинск  
пр. Ленина, 35; +7 (351) 239 46 37  
[www.promforum74.ru](http://www.promforum74.ru)

## СЕДЬМОЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ –  
ПРОРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ И МАШИНОСТРОЕНИИ

15-я Юбилейная «УРАЛЬСКАЯ ПРОМЫШЛЕННО-  
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ НЕДЕЛЯ»

**14-17** Специализированные выставки:

- апреля**
- «Металлургия. Метмаш»
  - «Машиностроение. металлообработка. Сварка. Инструмент»
  - 2015 г.** • «Промэнерго. Энергосбережение и энергоэффективность»
  - «Экология. Промышленная безопасность»
  - «Транспорт. Логистика. Склад»

Организаторы:



Правительство  
Челябинской области



ЦЕНТР МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОРГОВЛИ  
ЧЕЛЯБИНСК



ЧЕЛЯБИГПРОМЕЗ  
Федеральное государственное унитарное предприятие