

УДК 621.387.3

## **Принципы построения и основные элементы передающего блока системы лазерной космической связи**

*Голуб И.А., д.т.н., проф. Денбновецкий С.В.*

Интерес к применению лазерной техники в спутниковой связи обусловлен возможностью использования частот, превышающих рабочие частоты систем радиодиапазона на 7-8 порядков. Это позволяет реализовать три основных преимущества лазерной связи, такие как более широкая полоса частот, меньшие расходимость излучения и размеры антенн, освоение нового диапазона. Лазерная техника даёт возможность получать очень узкие

(шириной менее  $0,1^\circ$ ) лучи, что исключает помехи от расположенных поблизости спутников, а также обеспечивает исключительно высокие значения коэффициента усиления антенн, что решает проблемы массогабаритных параметров и потребляемой мощности аппаратуры связи [1].

На Рис. 1 приведена упрощённая функциональная схема лазерной системы связи.



Рис. 1. Функциональная схема лазерной системы связи [1]

В системе оптической связи происходят передача и обработка световых сигналов. Сигналом служит модулированная световая волна,

несущая информацию. В подобных системах понятие «оптический» относится к электромагнитным волнам намного короче одного миллиметра, отсюда следует, что

длина оптической волны намного меньше обычных размеров применяемых устройств. Выбор вида светового излучения и длины световой волны для оптической связи зависит как от характера передаваемого сообщения, так и возможностей создания такого излучения, формирования из него сигнала, передачи и обработки световой волны и, наконец, приема сигнала, содержащего информацию.

Основные функции передающего модуля системы лазерной космической связи состоят в том, чтобы: 1) формировать оптический сигнал, способный передавать данные от внешнего источника с высокой скоростью (1-200 Гбит/с); 2) концентрировать и направлять передаваемую энергию на приёмное устройство. Вторичные функции включают в себя захват и

отслеживание сигнала принимающего модуля для направления и корректировки узко сфокусированного лазерного луча на приёмное устройство. Передающий модуль может состоять из различных элементов, но, как показано на Рис. 1, основными и неотъемлемыми его составляющими являются четыре элемента: лазер, модулятор, оптическая система, система наведения, захвата и слежения за лучом. Рассмотрим эти элементы подробнее [1].

#### *Лазер.*

Лазеры, применяющиеся в космической связи, в основном имеют три типа активных сред: полупроводник, газ или твёрдое тело. Для сравнения параметры наиболее распространённых типов лазеров приведены в табл. 1.

Табл. 1. Параметры наиболее распространённых типов лазеров [2]

Тип лазера	Длина рабочей волны, мкм	Коэффициент полезного действия передающего устройства, %	Коэффициент полезного действия лазера, %	Срок службы, ч
AlGaAs	0,89	1,0	5,0 ... 10	40 000, возможно увелич. до $10^5$ ... $10^6$
Nd: YAG	1,06	0,5	0,1 ... 7	40 000
Nd: YAG с удвоением частоты	0,532	0,4	0,08 ... 5	40 000
CO <sub>2</sub>	10,6	0,7	10 ... 15	до 10 000

В большинстве космических систем наиболее целесообразно

использовать твердотельные лазеры. Среди твердотельных лазеров

особенно стоит выделить Nd: YAG-лазер. Он широко используется в таких областях, как космическая связь, дальнометрия и локация. Благодаря хорошим теплофизическим и спектрально-люминесцентным характеристикам кристаллов Nd: YAG, лазеры на их основе позволяют получать практически все известные режимы генерации.

Эти лазеры могут работать в режимах модуляции добротности резонатора, открытия резонатора и синхронизации мод, кроме того, допускают импульсную модуляцию от низкой (порядка 0,1 Мбит/с) до высокой (порядка 2000 Мбит/с) скорости передачи информации. Nd: YAG-лазер имеет низкий, но приемлемый общий коэффициент полезного действия (обычно 1...7%), существенно зависящий от вида источника накачки оптического сигнала, которым могут быть газоразрядная лампа или полупроводниковый лазер. Одно из существенных преимуществ Nd: YAG лазера – он формирует луч с очень низкой расходимостью, что очень полезно в системах связи дальнего расстояния [3].

#### *Модуляция.*

Методы прямой модуляции обычно применимы к полупроводниковым лазерам. Твердотельные лазеры с оптической накачкой и газовые лазеры имеют долгое рекомбинационное время жизни  $\tau$  и время затухания фотонов  $\tau_p$  (у Nd:YAG лазера  $\tau \approx 10^{-3}$  с и  $\tau_p \approx 10^{-8}$  с). Такие большие времена жизни

ограничивают прямую модуляцию этих лазеров столь низкими частотами, что она теряет практическое значение. Медленно протекают и переходные процессы при включении и выключении твердотельных лазеров.

Обычно излучение таких лазеров модулируется внешними модуляторами, отделенными от лазеров. В этих модуляторах используются материалы, у которых либо показатель преломления, либо поглощение световой волны изменяется модулирующим сигналом (такие как CuCl, ZnS, GaAs, BaTiO<sub>3</sub>, LiTaO<sub>3</sub>, LiNbO<sub>3</sub>). Управление показателем преломления основывается либо на электрооптическом эффекте (на величину  $n$  влияет электрическое поле), либо на магнитооптическом эффекте (на величину  $n$  действует магнитное поле), либо на пьзооптических эффектах (на величину  $n$  влияют пьзоэлектрические изменения плотности). В модуляторах для оптической связи используется преимущественно электрооптический эффект. Материалы с выраженным магнитооптическим эффектом непрозрачны для света. Пьзооптические модуляторы получаются сложнее, чем электрооптические, и более громоздки. Конструкция типичного внешнего модулятора показана на Рис. 2.

В высокоскоростных, использующих короткие импульсы, лазерных системах связи применяют

такі види модуляції: двоична амплитудо-імпульсна (ДАИМ), двоична імпульсна поляризаційна (ДИПМ), позиційно-імпульсна (ПИМ). Найбільш ефективним є останній вид, т.к. при його застосуванні одним імпульсом можна передати велику кількість двоичних символів, за рахунок розбиття заданого інтервалу на велику кількість тимчасових позицій. Крім цього реалізується режим з великою скважністю, оскільки в часі М тимчасових інтервалів з'являється лише один імпульс. Також при ПИМ можливо придушення шуму за рахунок дискретного тактирування кожної тимчасової позиції в оптичному прийомному пристрої.

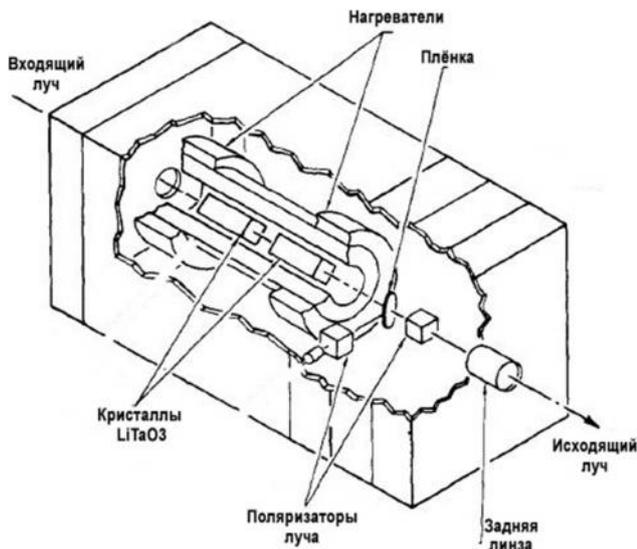


Рис. 2. Основні елементи електрооптичного модулятора [2]

### *Наведення, захоп і слідування.*

В загальному випадку блок слідячих детекторів складається з детектора пошуку і захоплення, детектора точного слідування і пристрою обробки

інформації з відповідними електронними пристроями. Детектор пошуку і захоплення має більш широке поле огляду і формує сигнали помилки для механізму грубого наведення на карданових підвесах, а детектор точного слідування має менше поле огляду і формує сигнали помилки слідування для механізму точного наведення і юстировки. Для цієї мети можна використовувати квадрантні детектори з великим діапазоном швидкостей обробки інформації, залежних від застосовуваних алгоритмів пошуку, захоплення і слідування [2].

Основними факторами, впливними на точність наведення, є відношення сигнал-шум і швидкість обробки інформації в детекторах, тому на етапі розробки дані параметри повинні бути ретельно проаналізовані.

Блок електронних пристроїв пошуку, захоплення і слідування є вирішальним пристроєм, необхідним для виконання функцій пошуку і захоплення (в тому числі повторних), слідування і наведення. Для реалізації пошуку, захоплення, слідування, юстировки і калібрування підсистеми в цілому здійснюється управління механізмами грубого і точного наведення з допомогою інформації, отриманої від детекторів грубого і точного слідування. Крім цього на основі інформації про положення космічного апарату проводиться обчислення кута упередження для введення компенсуючого зміщення

луча. Поскольку функции данного блока сильно зависят от назначения системы и требований интерфейса космического аппарата, его трудно унифицировать. Однако можно разработать унифицированный процессор для выполнения большей части математических операций.

### *Оптика.*

Формирующая оптическая система предназначена для приема излучения маяка и передачи его по различным оптическим путям к одному из детекторов обнаружения или слежения. Кроме того, в ней формируется и направляется по совпадающему оптическому пути передаваемый луч. Для взаимного согласования несовпадающих частей передающего и приемного оптических устройств чаще всего вводят автоматическую юстировку. Для коррекции скорости отклонения луча на орбите используют смещение наведения с точной юстировкой между передающим и приемным устройствами.

К основным системам относятся следующие: 1) отражающие или преломляющие оптические системы; 2) плоское зеркало или телескоп для управления лучом, установленные на кардановом подвесе.

Преломляющие оптические системы обладают более простой и хорошо разработанной технологией, но проигрывают в массогабаритных параметрах, поэтому в настоящее время отдается предпочтение развитию отражающих оптических систем.

Часто применяют оптические системы Кассегрена [3], позволяющие использовать один телескоп как для передающего, так и для приемного устройств. Каждая лазерная система связи может осуществлять передачу с одной поляризацией, а прием — с другой. Оптическая система содержит две пластинки, через которые проходят лучи, как это показано на Рис. 3.

При прохождении луча с круговой поляризацией через четвертьволновую пластинку происходит изменение поляризации на линейную. Полуволновая пластинка осуществляет поворот плоскости поляризации на  $90^\circ$ . При таком способе одна станция может осуществлять передачу сигнала с правосторонней поляризацией и прием — с левосторонней, а другая станция — наоборот.

### *Выводы*

В работе были рассмотрены основные составляющие части передающего модуля системы лазерной космической связи и кратко изложены принципы построения таких устройств. В качестве источника лазерного излучения для связи в космосе чаще всего выбирают неодимовый YAG-лазер, позволяющие сформировать очень узкий луч, достигнуть высокой мощности излучения и поддерживающий практически все известные режимы генерации. Для модуляции излучения в наше время больше всего подходит электрооптический метод. Также при

использовании импульсной модуляции можно достичь наибольшей скорости передачи информации. Также при построении системы лазерной связи

позиционно-очень важно правильно спроектировать системы наведения, слежения за лучом, большое влияние на которые оказывает оптика устройства.

очень важно правильно спроектировать системы наведения, слежения за лучом, большое влияние на которые оказывает оптика устройства.

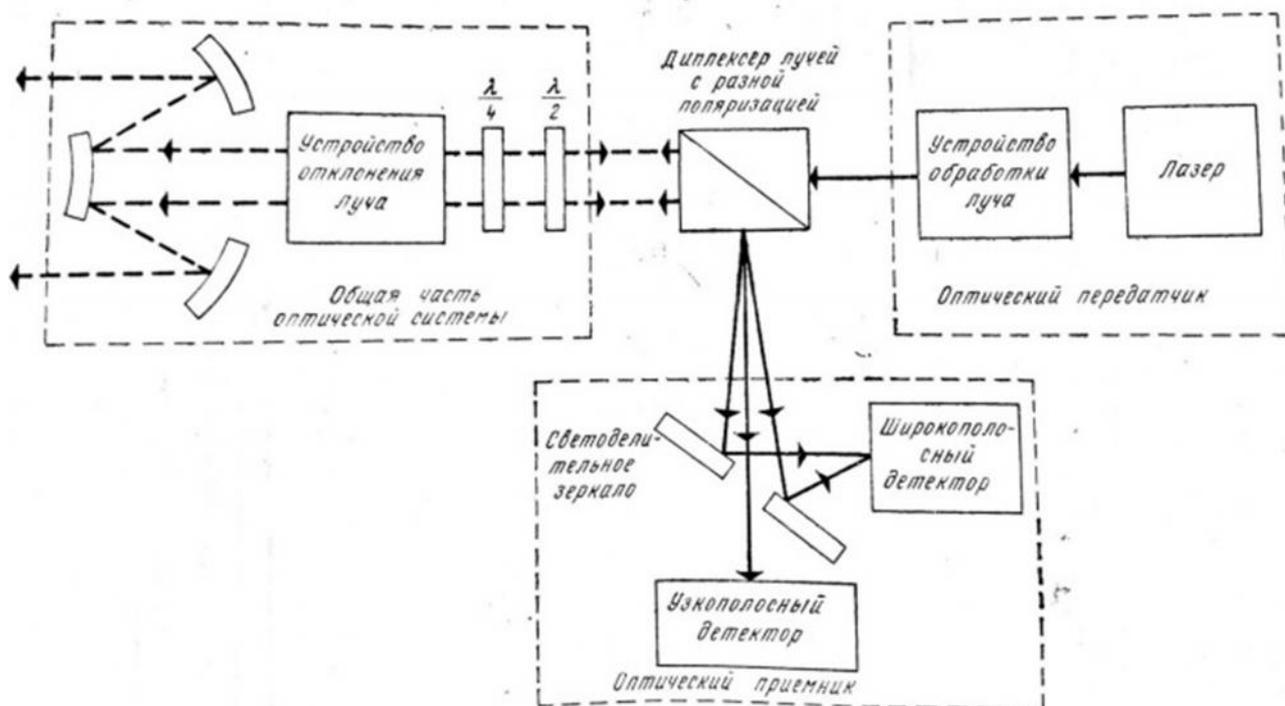


Рис. 3. Схема оптической системы [1]

Оптические системы Кассегрена позволяют уменьшить массу и габариты принимающего и передающего устройств, а также упростить конструкцию и снизить стоимость построения системы за счёт использования разной поляризации излучения для передачи и приёма информации.

### Литература

1. М. Кацман Лазерная космическая связь/ М.Кацман, пер. с англ. Сальников Ю.К. – М.: Радио и связь, 1993. – 240 с.

2. М. Ross, Space Optical Communications with the Nd:YAG laser/ [М. Ross, P. Freedman, J. Abernathy and others]// Proceedings of the IEEE, 1978. – V. 66, № 3. – p. 34

3. Аснис Л.А. Лазерная дальнометрия/ [Аснис Л.А. Васильев В.П., Волконский В.Б. и др.]. – М.: Радио и связь, 1995. – 256 с.