

СИНТЕЗ ВЫСОКОТОЧНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ШЕСТИПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

д.т.н., проф. Г.В. Алёшин, к.т.н. А.В. Коломийцев, А.В. Боровик

Изложены проблемы создания высокоточной лазерной шестипараметрической системы измерения наклонной дальности, радиальной и тангенциальной составляющих скорости, углов азимута и места при автосопровождении летательных аппаратов (ЛА) на основе модернизированного частотно-временного метода (ЧВМ) измерений.

Находящиеся в эксплуатации лазерные измерительные системы (ЛИС), обладающие возможностью существенного повышения точности измерений, не в полной мере удовлетворяют всевозрастающим предъявляемым к ним требованиям по многопараметричности и точности на большой дальности полёта ЛА. Таким образом, ЛИС обладают рядом существенных недостатков, основными из которых являются: недостаточное количество измеряемых параметров движений (ИПД); влияние атмосферы и трудности автосопровождения ЛА, которое проводится, как правило, по программе. Проведённый анализ основных тактико-технических характеристик (ТТХ) и принципов построения существующих ЛИС, а также направлений повышения точности ИПД и возможности автосопровождения ЛА показал, что использование модернизированного частотно-временного метода измерений [1] позволит обеспечить многопараметричность, высокую точность ИПД на больших дальностях и автосопровождение ЛА. При этом появляется возможность синтезировать высокоточную лазерную шестипараметрическую систему с одним излучателем, позволяющую осуществлять при устойчивом слежении за полётом ЛА одновременное измерение: наклонной дальности R ; радиальной скорости R' ; угловых координат α , β и угловых скоростей α' , β' в широком диапазоне дальностей, начиная с начального момента полёта.

Суть модернизированного частотно-временного метода измерений заключается в том, что из синхронизированного спектра излучения лазера с помощью селектора продольных мод (СПМ) выделяются необходимые пары частот для создания равносигнального направления (РСН) благодаря формированию суммарной диаграммы направленности (ДН) в виде 4-х частично пересекающихся парциальных ДН («подкрашенных» разностными частотами межмодовых биений), которые попарно встречно сканируют в каждой из двух ортогональных плоскостей [1]. Встреч-

ное сканирование пар парциальных ДН в каждой из двух ортогональных плоскостей приводит к сдвигу периодов огибающих пачек импульсов частот межмодовых биений за один полный проход ДН в прямом и обратном направлении сканирования. Это даёт возможность по разности сдвигов периодов огибающих сформировать сигналы ошибки по угловым координатам [1, 4] и точно определить углы азимута α и места β , а также величину и знак угла отклонения летательного аппарата от РСН.

Это же встречное сканирование пар парциальных ДН в каждой из двух ортогональных плоскостей приводит к сдвигу полупериодов (длительностей) огибающих пачек импульсов частот межмодовых биений за один проход ДН в одном направлении сканирования. Это дает возможность по разности длительностей огибающих (полупериодов) определить угловую и тангенциальную составляющую скорости ЛА [2].

Также встречное сканирование пар парциальных ДН в каждой из двух ортогональных плоскостей позволяет измерять с высокой точностью как дальность до ЛА по запаздыванию частоты межмодовых биений [3], так и его радиальную скорость доплеровским методом [5], поскольку наилучший режим сканирования обеспечивается при частичном перекрытии ДН.

Известно, что лучшего совершенства достигают совмещённые системы, где кроме обычных ТТХ аппаратурно и сигнально учитывается также показатель экономичности. Для ЛИС, использующих импульсные сигналы, существуют трудности в измерениях радиальной скорости в раскрытии неоднозначности по дальности, в сохранении энергетического потенциала при высокоточных измерениях, т.к. для точных измерений требуются наиболее крутые фронты импульсов, а, значит, широкие полосы пропускания. Использовать высокую когерентность сигнала для точных измерений дальности фазовым методом на оптической несущей проблематично, т.к. требуются дополнительные синхронизирующие генераторы для большого числа связанных жестко во времени шкал. Для ЛИС, использующих непрерывные сигналы, существуют трудности при измерениях дальности. Для фазовых же измерений существуют трудности создания когерентных опорных частот. Модуляция амплитуды или угловая модуляция может осложнить стабильность режима. Преимущества ЛИС с непрерывными сигналами – возможность узкополостной фильтрации сигнала, преобразованного по частоте, и поднятие ею энергетического потенциала. Однако такое преимущество не достаточно используется в существующих ЛИС ввиду значительного усложнения аппаратуры.

Уменьшение расходимости луча (ДН) ЛИС является положительным фактором в повышении энергетического потенциала, или в повышении точности многопараметричных измерений. Однако, это приводит к проблеме поиска и удержания луча на кооперируемом и не кооперируемом ЛА. Решение такой проблемы зависит еще и от угловой динамики

ЛА. В системах углового автосопровождения (радиотехнического) проблема решается введением фильтров с требуемым астатизмом. Для ЛИС со сверхузкими ДН это не является решением проблемы. Поэтому пока не существует шестипараметричных ЛИС. Использование же указанного ЧВМ для прямого измерения угловой скорости ЛА является находкой для создания многопараметрических (шестипараметрических) ЛИС, у которых будет наибольший энергетический потенциал и, следовательно, – наибольшая точность измерений. Удачно сочетается для создания многопараметрических ЛИС также то обстоятельство, что для ЧВМ измерений требуется «подкрашивание» сканирующих пар ДН парами частот межмодовых биений, которые имеются в импульсном многомодовом лазерном излучении. Для их выделения и распределения по каналам требуется селектор продольных мод, совершенствование которого уже техническая проблема. Целесообразно иметь не более восьми мод.

Для нормальной работы измерителей углов и угловых скоростей требуется формирование ДН, стабильных по огибающей, поскольку интерференционные провалы сглаживаются при обработке сигналов. Поскольку точность измерений определяется крутизной огибающей, не зависимо от методов измерений разности сдвига периодов и их разностей, целесообразно использовать узкополостную фильтрацию сигнала как на разностных частотах межмодовых биений, так и на низших частотах, формирующих огибающую.

Реализация высокой точности пеленгации не возможна без прецизионной антенно-поворотной системы. ЧВМ измерений предполагает обработку результатов измерений в цифровой форме. Поэтому целесообразно создать адаптивный пакет обработки информации, цифровые астатические адаптивные фильтры и средства согласования протоколов. Обобщенная функциональная схема высокоточной лазерной шестипараметрической системы ИПД ЛА на основе модернизированного ЧВМ приведена на рис. 1, на котором обозначены:

ПРМ ПРД – приёмо-передатчик;

УФК – устройство формирования каналов;

УФС – устройство формирования сигналов;

УФСО – устройство формирования сигналов ошибки;

ИМ – исполнительный механизм.

Использование модернизированного ЧВМ измерений дает: сравнительную простоту построения цифровых измерителей каналов шестипараметрической системы, обусловленную многомодовым спектром лазерного передатчика, а также возможность повышения помехозащищённости самой измерительной системы за счёт варьирования частотами межмодовых биений. Более того, предлагаемый вариант данной лазерной системы предполагается к использованию в широком диапазоне дальностей (начиная с момента старта ЛА до 1500 км и более). Создание такой ЛИС открывает новые перспективы повышения точности траекторных

измерений и для других промышленных применений, например, для программно-цифровых автоматов.

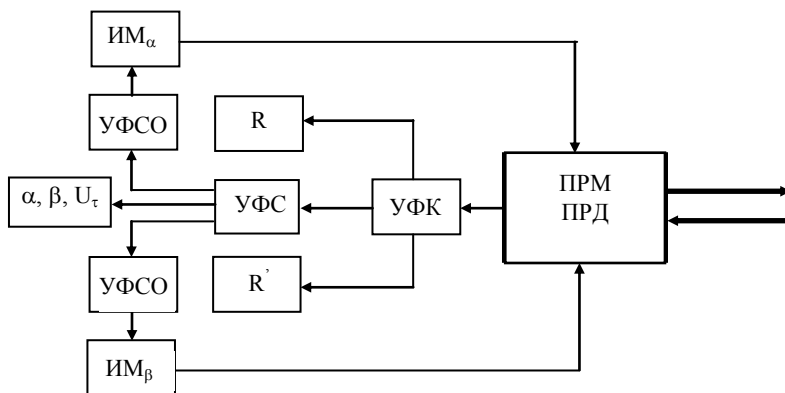


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема высокоточной лазерной шестипараметрической системы ИПД ЛА

Разработанные основы синтеза лазерной высокоточной шестипараметрической системы ИПД ЛА, учитывающие рекомендации по построению каналов: АСН с измерением углов азимута и места, наклонной дальности, радиальной и тангенциальной скоростей на основе использования модернизированного ЧВМ измерений, а также предварительные расчеты по полученным аналитическим выражениям для определения точностных характеристик системы позволили сделать выводы:

1) оптимальным диапазоном сканирования ДН модернизированным ЧВМ измерений при времени 0,1 с. является половина ширины диаграммы направленности $\Delta\theta_x / 2$;

2) доверительная вероятность несрыва автосопровождения при времени $T = 60''$ составляет $\geq 0,999$, а среднеквадратическая ошибка (СКО) суммарной погрешности автосопровождения – на два порядка меньше, чем у аналогичных моноимпульсных лазерных систем ИПД ЛА;

3) при реальных значениях: времени сканирования 0,1 с, угле расходимости лазерного луча 10^{-4} рад, на максимальном удалении 1500 км и полосе фильтрации 20 Гц, принципиально достижимые СКО ИПД ЛА предлагаемой системой могут быть: $\sigma_\theta \leq 10^{-9}$ рад/с, $\sigma_{\theta_{X,Y}} \approx 2 \cdot 10^{-8}$ рад, $\sigma_{U_\tau} = 0,06$ м/с.

Таким образом, предлагаемая шестипараметрическая система позволяет осуществлять измерение параметров движений летательного аппарата с более высокой точностью, как минимум – на порядок, при одновременном устойчивом угловом автосопровождении, по сравнению с

основными тактико-техническими характеристиками систем такого же класса. Основой реализации высоких точностных характеристик измеряемых параметров движений ЛА и их устойчивого автосопровождения, при условии использования модернизированного ЧВМ измерений и узкополосной фильтрации [4], является удовлетворение жестких требований, предъявляемых к излучению многочастотного лазера, в том числе высокоточной синхронизации продольных мод и стабилизации частот межмодовых биений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алёшин Г.В., Рондин Ю.П., Коломийцев А.В. Принципы построения лазерного канала углового автосопровождения объекта по направлению с частотно-временным методом измерений // Системы обработки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 1999. – Вып. 2(6). – С. 104 - 107.
2. Коломийцев А.В. Измерение тангенциальной составляющей скорости движения объекта // Системы обработки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 1999. – Вып. 1(5). – С. 162 - 166.
3. Алёшин Г.В., Рондин Ю.П., Коломийцев А.В. Построение лазерного канала измерения дальности до объекта // Системы обработки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2000. – Вып. 2(8). – С. 61 - 63.
4. Альошин Г.В., Рондин Ю.П., Коломийцев О.В. Принцип підвищення стійкості кутового автосупроводження літальних апаратів у лазерних вимірювальних системах // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: ХВУ. – 2001. – Вып. 7(37). – С. 79 - 81.
5. Алёшин Г.В., Рондин Ю.П., Коломийцев А.В. Принцип повышения точности измерения радиальной составляющей скорости движения летательного аппарата лазерной шестипараметрической системой // Системы обработки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вып. 3(19). – С. 28 - 30.

Поступила 30.07.2002

АЛЁШИН Геннадий Васильевич, доктор техн. наук, профессор кафедры Харьковского института военно-воздушных сил. В 1962 году окончил Харьковское военное командно-инженерное училище. Область научных интересов – основы радиоэлектронной системологии.

КОЛОМИЙЦЕВ Алексей Владимирович, канд. техн. наук, старший инженер лаборатории ХВУ. В 1993 году окончил Харьковское ВВКИУ РВ. Область научных интересов – основы лазерной системологии

БОРОВИК Александр Владимирович, научный сотрудник научного центра при ХВУ. В 1991 году окончил Харьковское ВВАУРЭ. Область научных интересов – электромагнитная совместимость сигналов.
