

РЕГУЛИРОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ АНТЕНН СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ОБРАБОТКИ ЛАЗЕРОМ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗБРОСА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

И. П. Ярославцева, И. А. Илларионов, А. В. Кузнецов

ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова», г. Нижний Новгород

В настоящее время ведется разработка новых изделий по заказу МО РФ.

Одной из важнейших составных частей таких изделий является система управления (СУ) движением объекта.

В целях повышения точности определения местоположения объекта, тенденции развития СУ направлены в сторону оснащения объектов дополнительными системами, в том числе спутниковой системой навигации.

Спутниковая система навигации является неавтономной – навигационное решение основано на использовании внешних сигналов. Для приема внешних сигналов аппаратура спутниковой навигации (АСН) должна включать в себя антенну.

Развитие современной техники таково, что наряду с увеличением функциональных возможностей устройств, к ним ужесточают требования по массогабаритным характеристикам и по стойкости к различным внешним воздействующим факторам.

Была поставлена задача разработки АСН, включающей в себя миниатюрную антенну.

В настоящее время в НИИИС разрабатываются принципиально новые малогабаритные приборы спутниковой навигации для СУ на основе отечественных материалов и элементов с применением новейших изделий микроэлектроники, где впервые в разработках института блок обработки сигналов совмещен с приемной антенной, а также разработана конструкция микрополосковой антенны с излучателями на основе керамического материала. Подробно о разработанной антенне изложено в [1, 2].

В рамках НИОКР ведутся работы по усовершенствованию конструкции миниатюрной антенны и выбору новых вариантов ее настройки. Электрические параметры микрополосковой антенны зависят от геометрических размеров излучателя L и относительной диэлектрической проницаемости керамического материала ϵ , на котором выполнен данный излучатель, при этом $L \sim \frac{1}{\sqrt{\epsilon}}$ [3]. Согласно нормативной документации диапазон ϵ керамического материала, из которого изготавливают подложки для излучателей антенн, составляет 8,9...10,6. При отклонении значения ϵ реальной подложки от значения ϵ , принятого при электромагнитном моделировании антенны, происходит ухудшение электрических па-

раметров, в том числе смещение рабочих полос частот относительно заданных, так как антенны микрополоскового типа являются узкополосными (20...40 МГц). Поэтому актуальным является вопрос по снижению влияния технологического разброса ϵ на электрические характеристики антенны. Решение данного вопроса позволит снизить трудоемкость регулировочных работ, поскольку практические результаты измерений электрических параметров антенн показали высокую сходимость расчетных и экспериментальных данных.

Для снижения влияния ϵ на электрические параметры микрополосковых антенн были предложены два варианта:

1) разделение диапазона ϵ на поддиапазоны шириной около 0,3 и расчет геометрических размеров излучателя и подложки антенны для каждого поддиапазона ϵ ;

2) создание универсальной топологии, при этом геометрические размеры излучателя и подложки антенны рассчитываются для $\epsilon = 8,9$ (в этом случае излучатель имеет максимальные габаритные размеры) и затем, в зависимости от значения ϵ «лишние» области излучателя подлежат удалению с поверхности подложки или отсечению от основной области излучателя.

Для первого варианта необходимо разбиение диапазона минимум на пять поддиапазонов для достижения требуемых электрических параметров, фактически получаем минимум пять антенн, для которых требуется провести электромагнитное моделирование, подготовку производства. В первом варианте также исключается возможность проведения «предварительной проверки» изготовленной антенны для оценки значения ϵ и дальнейшей коррекции.

Второй вариант предполагает два этапа регулирования антенны:

1) грубая настройка – по результатам измерений ϵ отсекаем «лишние» области излучателя для подведения полос частот регулируемой антенны к требуемым;

2) плавная настройка – частичное объединение отсеченных областей излучателя с основной областью излучателя для точной настройки резонансной частоты и коэффициента эллиптичности.

Для реализации настройки микрополосковых антенн по второму варианту необходимо проведение прецизионной обработки антенны с учетом следую-

щих требований: 1) точность ($\approx 10\text{--}100$ мкм) и повторяемость геометрических размеров вырезаемых объектов на поверхности подложки;

2) чистота обработанной поверхности, соответствующая величине $\sqrt{Ra1,25}$;

3) ограничение глубины резания для гарантированного удаления только металлизированного слоя;

4) высокая точность ($\approx 10\text{--}100$ мкм) расположения вырезаемых объектов в поле обработки антенны.

В настоящее время в институте плавная настройка антенн осуществляется с помощью механической обработки путем формирования пазов в излучателях, как описано в [4]. При использовании специального инструмента высокая точность при формировании пазов не достигается. Это приводит к нескольким итерациям при настройке, что увеличивает время регулирования.

Для поставленной задачи оборудование для механической обработки не подходит, так как не удовлетворяет вышеперечисленным требованиям.

Рассмотрен способ коррекции топологии излучателя антенны путем обработки на имеющемся в институте лазерном маркирующем комплексе (ЛМК). Выполнение требований достигается оптимизацией режимов обработки антенны, т. е. отработкой технологии.

Для подбора режима обработки были проведены эксперименты на образцах из керамических материалов. Параметры режима, подлежащие варьированию, следующие:

- 1) мощность излучения, %;
- 2) скорость перемещения лазерного пятна, мм/с;
- 3) частота импульсов, Гц;
- 4) количество проходов.

В результате проведенной работы были подобраны режимы, позволяющие удалить проводниковую серебряную пасту (из которой сформирован излучатель) и минимально затронуть при этом керамическую подложку. Параметры режимов приведены в таблице, керамические образцы после обработки на ЛМК приведены на рис. 1. При подборе режимов обработки были учтены рекомендации, приведенные в [5]. Чистота, качество и точность геометрических размеров достигаются за счет обеспечения определенной мощности излучения и одновременного повышения скорости обработки, глубина резания зависит от количества проходов, см. рис. 1 и таблицу.

Лазерной обработке подвергалась антенна, показанная на рис. 2. Линии, совпадающие с осями симметрии антенны на рис. 2 представляют собой излучение полупроводникового лазера. Данные линии предназначены для совмещения вырезаемых объектов и антенны.

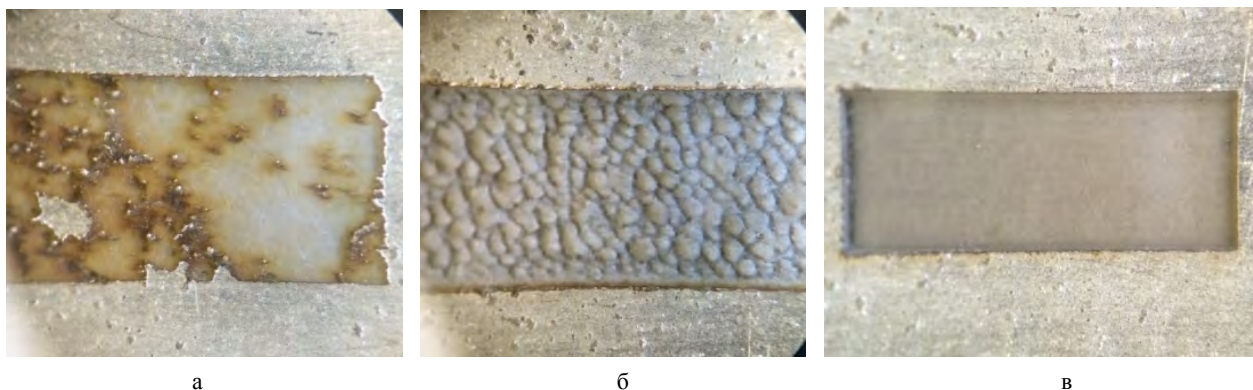


Рис. 1. Керамические образцы после обработки на ЛМК: а – по режиму № 1; б – по режиму № 2; в – по режиму № 3

Режимы лазерной обработки

№ режима/ Параметры режима	Мощность излучения, %	Скорость перемещения лазерного пятна, мм/с	Частота импульсов, Гц	Количество проходов
1	<100	>40	91 000	1
2	100	40	91 000	1
3	100	150	21 000	5

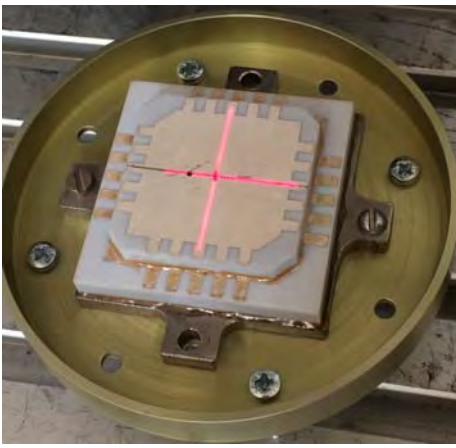
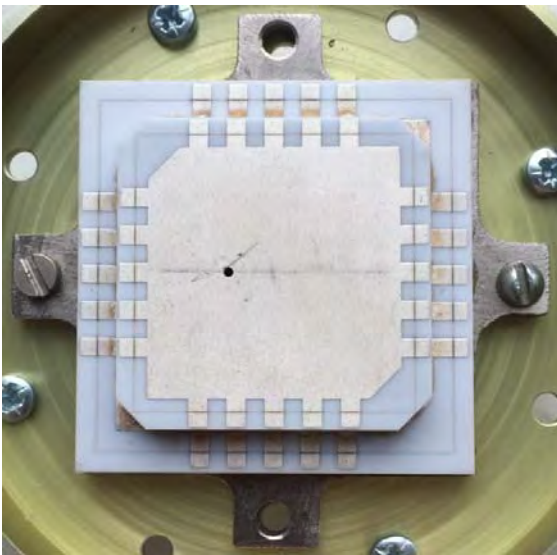


Рис. 2. Внешний вид микрополосковой антенны до лазерной обработки

Микрополосковая антенна после лазерной обработки представлена на рис. 3.



а



б

Рис. 3. Микрополосковая антенна после лазерной обработки: а – внешний вид, б – фрагмент после лазерной обработки

В процессе грубой настройки антенны были сделаны вырезы в металлизации по периметрам нижнего и верхнего излучателей, как показано на рис. 3,б. Положение вырезов выбиралось, исходя из предварительных измерений частотной зависимости КСВн и входного импеданса антенны. Результат измерения частотной зависимости КСВн антенны после лазерной обработки представлен на рис. 4. На рис. 4 маркеры 1, 2, 3 соответствуют крайним и центральным частотам L2 диапазона ГЛОНАСС, маркеры 4, 5, 6 соответствуют L1 диапазону. Как видно из рис. 4 антенна не настроена на необходимые частотные диапазоны. Таким образом, после лазерной обработки осуществлялась плавная настройка путем запаивания вырезов в части прямоугольников верхнего и нижнего излучателей. Результат плавной настройки представлен на рис. 5–6. Как видно из рис. 5 значение КСВн в диапазоне L1 менее 2, в диапазоне L2 менее 2,7. Из рис. 6 видно, что перетяжки, соответствующие минимуму коэффициента эллиптичности антенны находятся на центральных частотах диапазонов.

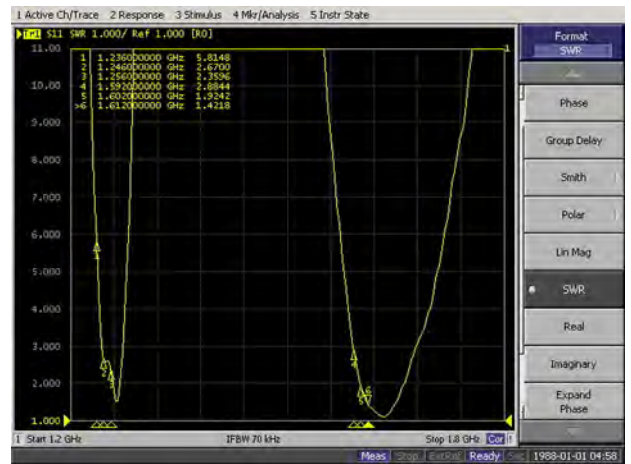


Рис. 4. Частотная зависимость КСВн антенны после лазерной обработки

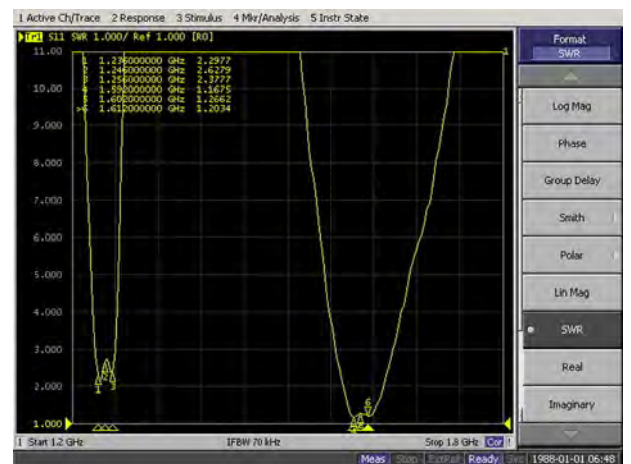


Рис. 5. Частотная зависимость КСВн антенны после лазерной обработки и плавной настройки

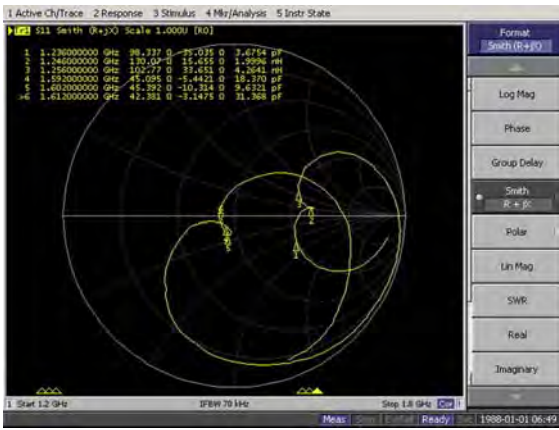


Рис. 6. Номограмма Вольперта–Смита настроенной антенны

Таким образом, применение лазерной обработки в сочетании с плавной настройкой обеспечивает требуемые характеристики антенн при нестабильном значении ϵ .

Настройка с применением ЛМК позволяет снизить трудоемкость регулировочных работ.

Применение ЛМК позволяет исключить механическую обработку и повышенный износ инструмента.

Далее, при оптимизации программы лазерной обработки топологии излучателей, плавную настройку антенн можно проводить локально лазерной обработкой. В случае применения ЛМК для регулирования антенн требуется организация рабочего места в непосредственной близости с ЛМК, с возможностью измерения в режиме реального времени необходимых электрических характеристик.

1. Илларионов И. А., Кузнецов А. В., Ярославцева И. П. Разработка керамических антенных модулей для бортовой аппаратуры спутниковой навигации // «Проектирование и отработка приборов и систем». III отраслевая научно-техническая конференция. Сборник материалов. – Снежинск, 2015/ Т. 1 С. 253–256.

2. Гудина Т. Л., Кузнецов А. В., Светлаков Ю. А., Ярославцева И. П. Применение керамического материала «Кортим» в конструкции микрополосковой антенны бортовой аппаратуры спутниковой навигации // Материалы XXII Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии», ИСТ-2016. – Нижний Новгород, НГТУ, 2016/ С. 124.

3. Milligan Thomas A. Modern antenna design - 2nd ed. – Hoboken, New Jersey: John Wiley&Sons, 2005.

4. Илларионов И. А., Дудкин М. И., Кузнецов А. В., Зверева А. В., Ярославцева И. П. Исследование характеристик и методов настройки двухдиапазонных миниатюрных микрополосковых антенн спутниковой навигации с подложкой из керамического материала // Антенны, 2016, № 1 (221). С. 24–32.

5. Вакс Е. Д., Миленький М. Н., Сапрыкин Л. Г. Практика прецизионной лазерной обработки. М.: Техносфера, 2013.