электронное научно-техническое издание
НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ
Эл № ФС 77 - 30569. Государственная регистрация №0421100025. ISSN 1994-0408

Перспективные малогабаритные антенные системы миллиметрового диапазона для специальных применений

77-30569/245898

10, октябрь 2011

Усачев В. А., Голов Н. А., Виленский А. Р., Кудрявцева Н. В.

УДК 621.37/.39

МГТУ им. Н.Э. Баумана
ni_go@mail.ru
main@rl1-11.bmstu.ru
temaforyou@yandex.ru

Введение

Основу системы управления авиационных ракет составляют координаторы цели, в качестве базового датчика которых в настоящее время активно внедряются радиолокационные головки самонаведения (РГСН) миллиметрового диапазона [1]. На все компоненты бортовой радиоэлектронной аппаратуры накладываются жесткие требования по минимизации массогабаритных параметров, в частности, по снижению массогабаритных параметров антенных систем, при сохранении требуемых характеристик диаграммы направленности и параметров сканирования.

В качестве антенн РГСН традиционно использовались зеркальные и линзовые антенны, отличающиеся значительными габаритами, высоким энергопотреблением системы механических приводов поворота антенны, одноканальностью и, как следствие, потенциально низкими адаптивностью и многофункциональностью. Эти недостатки предопределили переход к использованию в РГСН фазированные антенные решётки (ФАР), применение которых ранее ограничивалось недостаточным развитием элементной базы миллиметрового диапазона частот.

Развитие интегральной техники и технологии многослойных печатных плат позволило создавать малогабаритные свёрхлёгкие АФАР на базе печатных излучателей, которые, благодаря привлекательной совокупности характеристик, могут быть предложены для применения в качестве антенных систем РГСН. Ниже дан обзор некоторых перспективных решений по построению АФАР указанного класса.

АФАР на основе многослойных диэлектрических структур

Одним из ключевых моментов при проектировании АФАР для РГСН является необходимость выдержать габариты антенной системы в рамках миделя ракеты. Построение АФАР сопряжено с необходимостью организации системных каналов управления, контроля и питания распределённых усилителей и диаграммообразующих устройств, и для обеспечения требований по массо-габаритным характеристикам АФАР необходимо использовать архитектуру построения решётки, позволяющую максимально компактно и плотно скомпоновать радиотракт с системами контроля, питания и управления.

Использование многослойной печатной технологии, позволяет ярусно размещать отдельные функциональные блоки АФАР, минимизируя их взаимное влияние и оптимизируя ее рабочие характеристики. Одновременно минимизируются поперечные габариты АФАР и эффективно организуется теплоотвод.

В [2] продемонстрирована АФАР Ка-диапазона на основе многослойной печатной технологии, реализующая архитектуру TILA (Transverse Integration and Longitudinal Assembly - поперечная интеграция с продольной сборкой). На рисунке 1 показано поперечное сечение предложенной передающей сборки, состоящей из четырёх твердотельных GaAs усилителей мощности (УМ) и фазовращателей (ФВ) на основе коммутируемых отрезков линий. Антенное полотно построено на базе микрополосковых резонаторов с апертурным щелевым возбуждением. Задача теплоотвода от яруса УМ (рабочая выходная мощность 1 Вт при мощности потребления 4,8 Вт на каждый модуль) успешно решена при использовании металлической пластины пассивного охлаждения. Поперечные размера антенны 50x50 излучателей составляют 25x25 см^2.

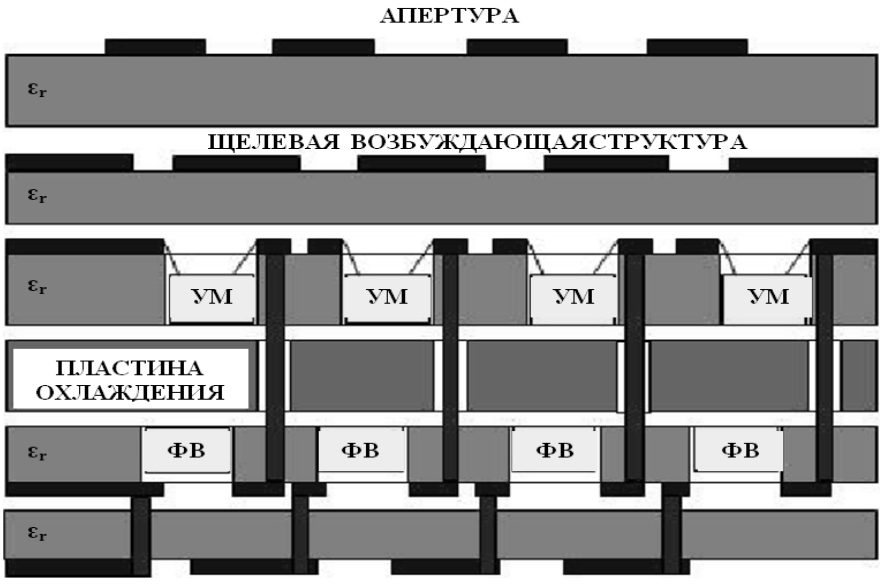


Рисунок 1 - Поперечное сечение фрагмента АФАР на основе TILA архитектуры

В [3] продемонстрирована возможность построения приёмной АФАР на основе жидкокристаллического полимера (ЖКП). Малые потери в миллиметровом диапазоне, высокие механическая прочность и пластичность, низкая гигроскопичность ЖКП делают такие материалы привлекательными в качестве диэлектрической базы многослойных структур АФАР. На рисунке 2 показана поперечная структура многослойной ЖКП подложки.

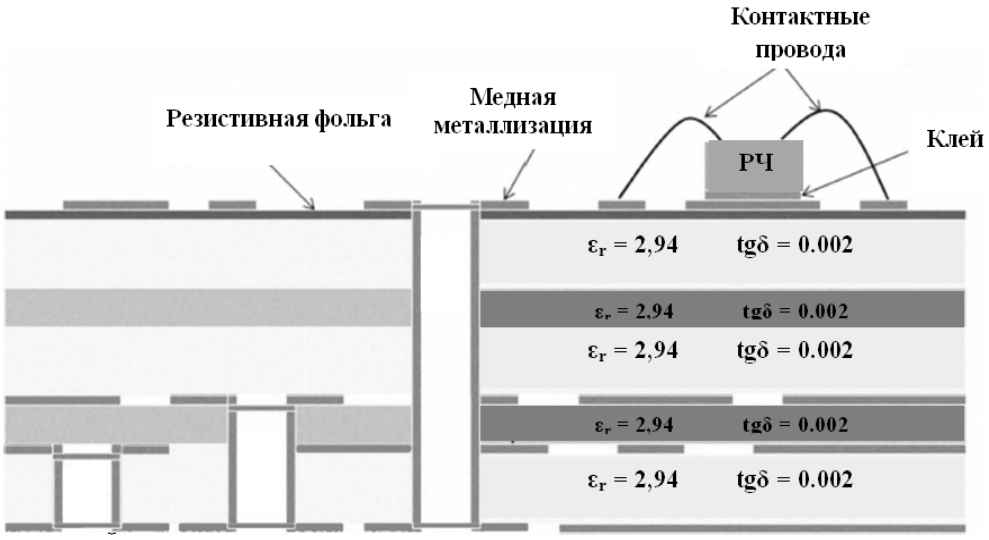


Рисунок 2 - Поперечное сечение фрагмента АФАР на основе ЖКП подложки

В данной сборке верхний слой используется для размещения излучающих элементов, пассивных и активных радиочипов (РЧ) - ППМ, ФВ. Нижний слой предназначен для размещения цифровой части АФАР. Промежуточные слои используются для организации линий управления и контроля. Полная толщина подложки составляет 0,4 мм.

Полотно излучателей АФАР Ка-диапазона на основе многослойной LTCC подложки

Другим перспективным материалом для низкопрофильных многослойных диэлектрических подложек КВЧ диапазона является низкотемпературная совместно обжигаемая керамика (Low Temperature Co-fire Ceramic - LTCC). Многослойные подложки на основе LTCC позволяют применять в качестве проводников металлы с низким значением удельного сопротивления (платина, золото, серебро), что обеспечивает высокий энергетический потенциал АФАР и высокую плотность компоновки. В [4] показано исполнение АФАР Ка-диапазона с TILA архитектурой на основе LTCC. В представленной АФАР используются ФВ на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС). Следует отметить, что благодаря малым габаритам и массе, высокому быстродействию, а также

малым проходным потерям применение МЭМС в составе радиоэлектронных систем РГСН крайне привлекательно, так как в данном случае не является ограничивающим фактором низкий рабочий ресурс таких устройств.

Для построения АФАР Ка-диапазона на основе многослойных диэлектрических структур авторами спроектировано полотно излучателей крупномодульной АФАР на подложке LTCC DuPont 943 (ε_r = 7,4; tgδ = 0,0015) с толщиной верхнего слоя 254 мкм. Общий вид полотна показан на рисунке 3. На один активный ППМ приходятся десять микрополосковых излучателей с последовательным питанием. Габариты решетки из 60x24 излучателей составили 14x12 см^2.

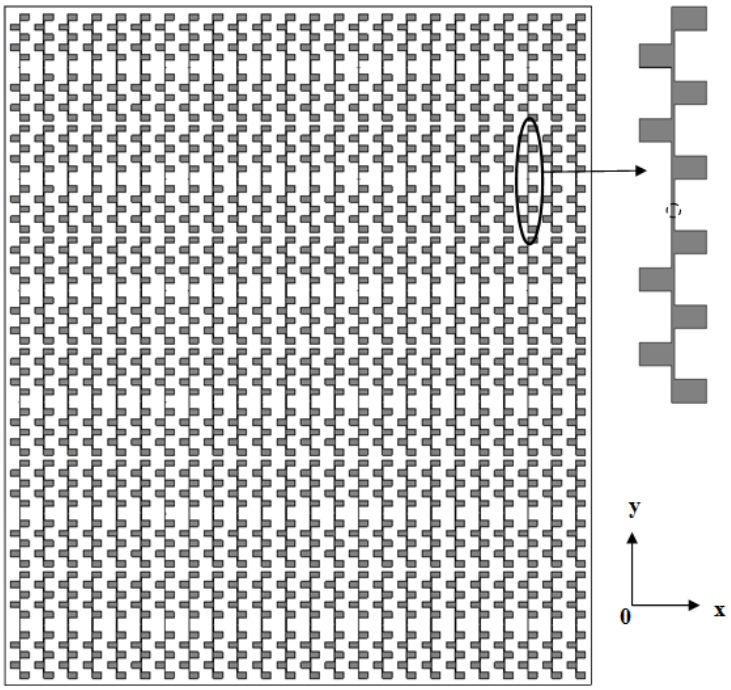


Рисунок 3 - Общий вид излучающего полотна АФАР

Полученные характеристики согласования и диаграммы направленности (ДН) разработанной пассивной ФАР показаны на рисунках 4 и 5 соответственно.

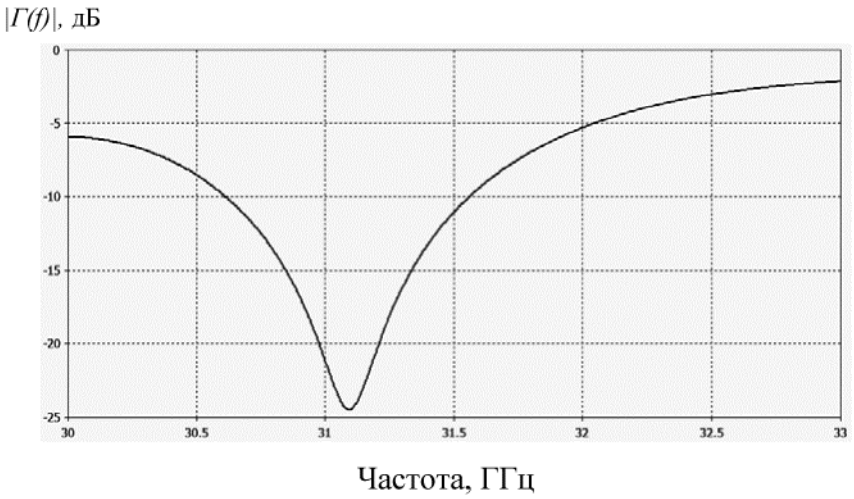
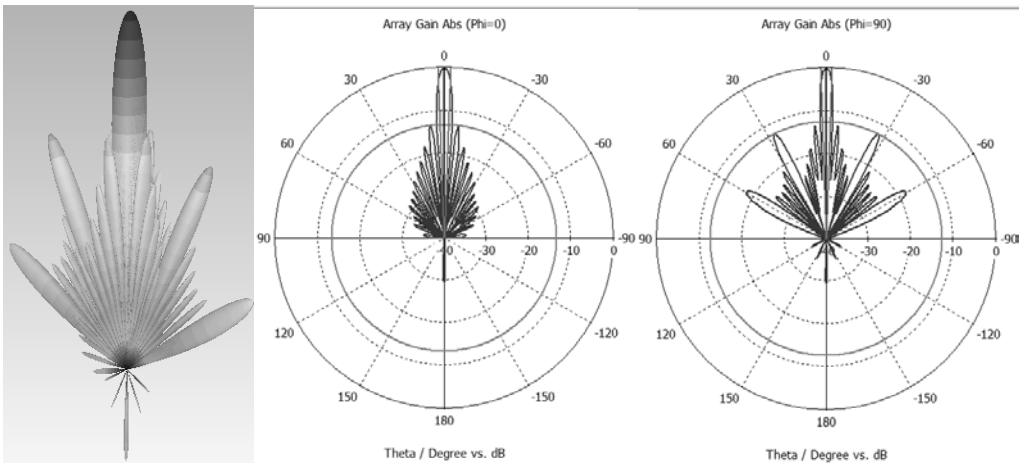


Рисунок 4 - Частотная зависимость модуля коэффициента отражения пассивной ФАР



а) б) в)

Рисунок 5 - Трёхмерная ДН ФАР (f = 31 ГГц) (а); сечение ДН в плоскости *xoz* (б); сечение ДН в плоскости *yoz* (в)

Коэффициент усиления ФАР составил 32,7 дБ, максимальный уровень бокового излучения - минус 13 дБ, ширина главного лепестка по уровню минус 3 дБ - 4,3х3,6^0.

Рассмотренные технологии построения АФАР миллиметрового диапазона на базе многослойных диэлектрических структур обеспечивают возможность построения лёгких низкопрофильных антенных систем с высоким энергетическим потенциалом и реализацией широкоугольного электрического сканирования, что позволяет считать такие АФАР удачным выбором для разработки на их основе антенных систем РГСН.

Литература

1. Усачев В.А. Голов Н.А. Кудрявцева Н.В. «Тенденции развития высокоточного оружия класса воздух-поверхность» // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем» 2011г. Сборник №4 2011г. с. 80-84

2. L.A. Greda and A. Dreher, "Tx-terminal phased array for satellite communication at Ka-band," in Proc. 37th European Microwave Conference, Munich, Germany, 2007, pp. 266-269.

3. J-C. S. Chie, A-V. Pham, T.W. Dalrymple, D.G. Kuh, B.B. Garber, K. Aihara, "A Light Weight 8-Element Broadband Phased Array Receiver on Liquid Crystal Polymer," IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., Anaheim, CA, May 2010.

4. Gautier, W., V. Ziegler, A. Stehle, B. Schoenlinner, U. Prechtel, and W. Menzel, "RF-MEMS phased array antenna on low-loss LTCC substrate for Ka-band data link," EuMC 2009, IEEE European Microwave Conference, pp. 914-917, Sep. 29 -Oct. 1, 2009.

electronic scientific and technical periodical
SCIENCE and EDUCATION
EL № FS 77 - 30569. №0421100025. ISSN 1994-0408

Promising small aperture antenna system for millimeter range special applications

77-30569/245898

 # 10, October 2011

Usachev V.A., Golov N.A., Vilenskii A.R., Kudryavceva N.V.

Bauman Moscow State Technical University
ni_go@mail.ru
main@rl1-11.bmstu.ru
temaforyou@yandex.ru

In this paper the analysis of advanced technologies to create small antenna systems for millimeter range for used in radar seeker. Considered technology of antennas based on a multilayer printed circuit technology, liquid-crystalline polymers technology, and technology of low-temperature co fired ceramics. The basic characteristics of these antennas vas reviewed, and show the validity of their application for a small antenna on-board electronics.

Publications with keywords: small aperture antenna, liquid crystal polymers, low temperature cofired ceramic
Publications with words: small aperture antenna, liquid crystal polymers, low temperature cofired ceramic

Reference

1. V.A. Usachev, N.A.Golov, N.V. Kudriavtseva, in: Proceedings of the All-Russia scientific and technical conference «Problems of efficiency and safety of functioning of difficult technical and information systems», 2011, No. 4, 2011, pp. 80-84.
2. L.A. Greda, A. Dreher, Tx-terminal phased array for satellite communication at Ka-band, in Proc. 37th European Microwave Conference, Munich, Germany, 2007, pp. 266-269.
3. J-C. S. Chie, A-V. Pham, T.W. Dalrymple, D.G. Kuh, B.B. Garber, K. Aihara, A Light Weight 8-Element Broadband Phased Array Receiver on Liquid Crystal Polymer, IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., Anaheim, CA, May, 2010.
4. W Gautier, V. Ziegler, A. Stehle, B. Schoenlinner, U. Prechtel, W. Menzel, RF-MEMS phased array antenna on low-loss LTCC substrate for Ka-band data link, IEEE European Microwave Conference (EuMC 2009), Sep. 29 -Oct. 1, 2009, pp. 914-917.