УДК.621.372

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОБЪЁМНО-МОДУЛЬНЫХ СВЧ ДИАГРАММА-ОБРАЗУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Н.В. Дударев, С.Н. Даровских

В статье обосновывается актуальность совершенствования аналоговых СВЧ компонентов современного радиоэлектронного оборудования. Описывается объёмно-модульный способ их реализации. Раскрыта сущность основных принципов построения объёмно-модульных СВЧ диаграмма-образующих устройств. Перечислены основные их преимущества и недостатки. Описывается способ количественной оценки влияния формы устройства на его габаритные характеристики при применении объемно-модульной технологии его построения.

Ключевые слова: объёмно-модульная технология, полосково-щелевой переход.

Введение

В связи со значительным развитием радиоэлектроники происходит широкое распространение идей, методов и устройств радиоэлектроники в различных областях. Параллельно происходит освоение всё более коротких диапазонов длин волн. При этом зачастую изучение и техническое освоение их происходят практически одновременно. На сегодня радиоэлектронная аппаратура (РЭА), предназначенная для работы (на уровнях умеренной мощности) в диапазонах коротких сантиметровых, миллиметровых и субмиллиметровых волн, постепенно с каждым годом все более интен-

сивно ориентируется на использование средств и методов СВЧ плат. Подавляющее большинство современных СВЧ плат как у нас, так и за рубежом выполняется в виде однослойных конструкций, что приводит в ряде случаев к неоправданно большим габаритам РЭА. Это абсолютно недопустимо в связи с жесткими требованиями, предъявляемыми к устройствам РЭА, особенно к тем, которые предназначены для использования в компактных переносных системах или в составе малогабаритных подвижных объектов.

Важнейшим требованием, предъявляемым к современным РЭА, является необходимость обеспечения минимальных массогабаритных характеристик. Также в условиях высокой степени рыночной конкуренции определяющими факторами являются невысокая себестоимость и высокий уровень надёжности.

Существенного прогресса в достижении вышеуказанных требований можно добиться применением объёмно-модульной технологии построения РЭА [1, 2].

Основное содержание объёмно-модульной технологии

Объемно-модульная технология предполагает создание на основе известных однослойных СВЧ устройств многослойного (многоэтажного) аналога, представляющего собой модульную конструкцию из СВЧ плат, каждый из этажей которой содержит дробную часть (декомпозицию) исходного устройства в целом. При этом каждый слой новой конструкции устройства выполнен по плоскостной технологии, а связь между элементами, расположенными на различных этажах, осуществляется с помощью электромагнитного поля.

Для наглядности реализации применения объёмно-модульной технологии покажем её на примере гипотетического диаграмма-образующего устройства (рис. 1). Данное устройство представляет собой многослойную конструкцию, состоящую из 4 СВЧ плат. На платах размещается функционал устройства.

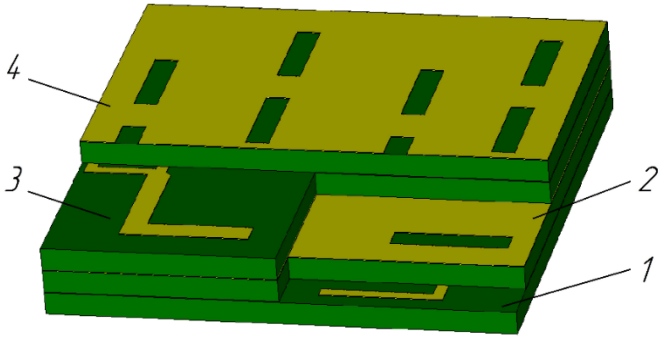
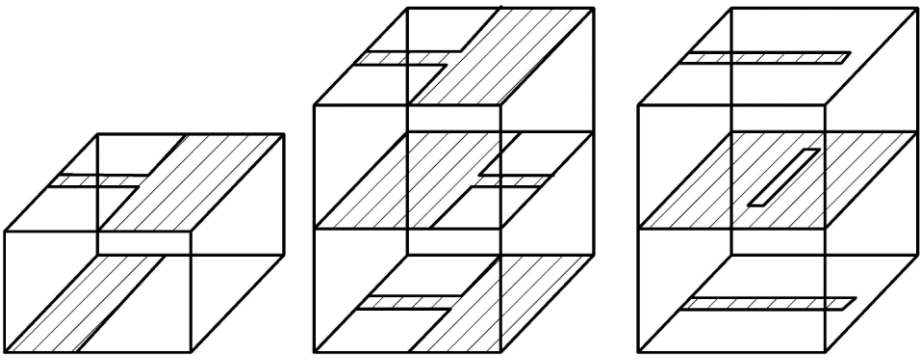


Рис. 1. Гипотетическое объёмно-модульное СВЧ устройство в разрезе:
1, 3 – слои, реализованные с применением полосковых линий;
2 – переходный слой с щелевыми линиями;
4 – слой с антенной решёткой на основе щелевых излучателей

Электрическая связь между отдельными слоями объёмно-модульной конструкции осуществляется с помощью полосково-щелевых переходов, размещенных на слое 2 (рис. 1). В настоящий момент в литературе можно встретить несколько различных типов переходов, реализованных на базе полосковой и щелевой линий (рис. 2) [3, 4]. Данный способ связи не требует монолитности многослойной конструкции плат.

Принципы построения СВЧ устройств

Реализация объёмно-модульной конструкции СВЧ-устройства, позволяющая сохранить их функциональное предназначение при переходе от плоскостного к объемному исполнению, основана на соблюдении основных принципов, которыми необходимо руководствоваться при их проектировании и создании. Основным принципом объёмно-модульного исполнения конструкции СВЧ-устройства является принцип многослойности его построения. Реализация этого принципа основана на декомпозиции электрической схемы устройства в плоскостном исполнении на простейшие, но законченные блоки. Каждому блоку отводится отдельный конструктивный слой. Благодаря многослойности построения конструкции можно значительно сократить масса-габаритные показатели изделия в целом. Однако реализация этого принципа сопряжена с проблемой реализации взаимосвязи (электрической или электромагнитной) слоев многослойной конструкции друг с другом.



а) б) в)

Рис. 2. Некоторые возможные типы полосково-щелевых переходов:
а) переход полосок – объёмная щель;
б) переход полосок – объёмная щель – полосок;
в) переход полосок – щель полосок

Другим принципом построения, характерным для объёмно-модульного исполнения СВЧ-устройств является принцип модульности их построения. Под модульностью понимается такое конструктивное построение устройства, которое позволяет заложить в него определенный модернизационно-отладочный ресурс. Такой ресурс позволяет оперативно осуществлять замену одного или нескольких слоев конструкции на другие, а также проводить корректировку эксплуатационных характеристик изделия.

Из реализации принципа модульности конструкции изделия вытекает третий, самый важный принцип объёмно-модульного исполнения: принцип бесконтактной электромагнитной связи между слоями объёмно-модульной конструкции. Реализация этого принципа основана на использовании квазиантенной излучающей структуры, со сверхмалыми потерями мощности излучения. Использование бесконтактной электромагнитной связи между слоями позволяет реализовать указанные выше преимущества модульного построения конструкции изделия, а также избежать электрических контактов, сопряженных с «пайкой» проводов и использованием переходных отверстий и кабельных переходов.

Несмотря на всю привлекательность, второго и третьего принципов построения объемно-модульной конструкции СВЧ-устройств ДОС, их реализация обуславливает необходимость разработки способа механического крепления базовых элементов друг к другу. Безусловно, это является также проблемой, требующей своего разрешения.

Основные преимущества и недостатки объёмно-модульной технологии и способы их оценки

К основным преимуществам, присущим объёмно-модульному устройству, относятся следующие.

Во-первых, это выигрыш в габаритах объёмно-модульного устройства по сравнению с традиционной конструкцией составляет примерно 10 раз [3]. В основе уменьшения габаритных характеристик лежит оптимизация количества используемых слоев. Для количественной их оценки можно использовать габаритный коэффициент:

$$K = 6V\sqrt{\frac{\pi}{S^3}}, \qquad (1)$$

где V – объём устройства, S – площадь поверхности объёмно-модульного устройства.

Наилучший результат достигается при сферической форме модуля (K=1). Но такая форма модульной конструкции нецелесообразна с точки зрения технологичности работы с ней. Поэтому наиболее предпочтительной является кубическая форма конструкции (K=0,7).

Дополнительные условия уменьшения габаритных характеристик устройства связаны с выбором наиболее целесообразной в каждом конкретном случае линии передачи (полосковые, щелевые, компланарные и т.д.)

Например, при использовании симметричной и несимметричной линии полосковой линии в составе многослойной конструкции по массогабаритным характеристикам выигрывает симметричная линия передачи (рис. 3). Особенно это заметно при увеличении количества слоёв.

Во-вторых, благодаря высокой степени стандартизации геометрических размеров базовых элементов возникает возможность модернизации РЭА путём их замены внутри конструкции. Благодаря разработке унифициро-

ванных элементов межслойной связи базовых элементов на основе полосково-щелевых резонаторов, не требующих монолитности (жёсткости) базовых элементов, достигается высокий потенциал на замену базовых элементов в короткие сроки.

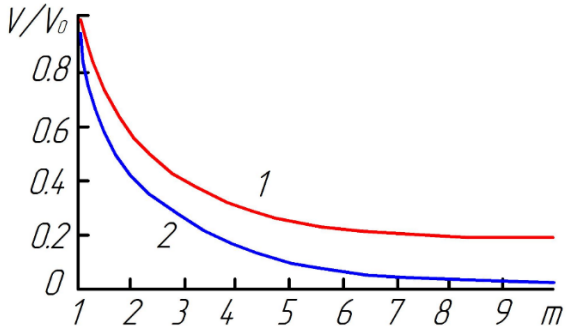


Рис. 3. Зависимость объёма ОМ устройства от числа слоёв диэлектрика:
1 – с использованием симметричных полосковых линий,
2 – с использованием несимметричных полосковых линий

К основным недостаткам, присущим устройствам, разработанным в соответствии с положениями объёмно-модульной технологии проектирования, можно отнести следующие:

– применение элементов бесконтактной передачи мощности хоть и позволяет добиться высокой модульной гибкости и универсальности базовых элементов, но имеет достаточно узкую полосу пропускания, связанную с резонансной природой перехода;

– объёмно-модульным устройствам, как и традиционным однослойным СВЧ аналогам свойственно ограничение по мощности в пределах от единиц до десятков кВт. Более того, для объёмно-модульных устройств данная проблема ещё более критична в связи с высокой плотностью размещения функционала и, как следствие, повышении риска пробоев;

– высокая плотность компоновки функционала объёмно-модульных устройств повышает вероятность возникновения электромагнитных помех, создаваемых отдельными элементами. В связи с этим при разработке объёмно-модульного устройства необходимо тщательно подходить к проблеме экранировки базовых элементов и стремиться избегать близости усилительных элементов тракта с источниками повышенных помех (усилительные каскады, антенная решётка и т.д.).

Выводы

Потребность конструктивного совершенствования аналоговых диаграмма-образующих СВЧ устройств обусловлена тем, что в последние годы стало очевидным, что плоскостные традиционные схемы их построения достигли потенциальных пределов по масса-габаритным показателям. Для них характерна также слабая ремонтопригодность и отсутствие функциональной гибкости.

Существенный прогресс в снижение масса-габаритных характеристик указанных устройств может быть достигнут применением многослойного (объёмно-многослойного) размещения элементов их конструкции. Рассмотренные в статье принципы построения СВЧ устройств с использованием объемно-модульной технологии могут быть использованы при их проектировании.

Библиографический список

1. Дударев, Н.В. Использование переходных отверстий и перемычек в линиях ВЧ и СВЧ тракта / Н.В. Дударев // Инновационная наука. Серия «Технические науки». – 2016. – Вып. 10. – Ч. 2. – С. 41–45.

2. Дударев, Н.В. Разработка гибридного делителя мощности на многослойной структуре / Н.В. Дударев, С.Н. Даровских // Инновационная наука. Серия «Технические науки». – 2016. – Вып. 4. – Ч. 3 – С. 100–107.

3. Гвоздев, В.И. Объёмные-интегральные схемы СВЧ – элементная база аналоговой и цифровой радиоэлектроники / В.И. Гвоздев, Е.И. Нефёдов. – М.: Наука, 1987. –112 с.

4. Гвоздев, В.И. Физические основы моделирования объёмных интегральных схемы СВЧ и КВЧ / В.И. Гвоздев, Г.А. Кузаев. – М.: Наука, 1987. –112 с.

К содержанию