

**Е.И. Бочаров, В.В. Ветров,
Э.Ю. Седышев, И.А. Усатова**

*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им.
проф. М.А. Бонч-Бруевича*

Планарные излучатели объёмных интегральных схем СВЧ

Представлен обзор планарных антенн рекомендуемых к использованию в составе объёмных интегральных схем (ОИС) СВЧ. Указаны возможные ограничения по их использованию в зависимости от требуемой полосы частот и диаграммы направленности. Оговариваются особенности, связанные с интеграцией в ОИС: вопросы питания, металлизация, толщина подложки.

Ключевые слова: объёмные интегральные схемы СВЧ, планарные излучатели

Одним из направлений развития современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) является создание объёмных интегральных схем (ОИС) СВЧ, которые представляют собой, как правило, многослойные конструкции. Каждый слой содержит радиоэлектронные компоненты и функциональные узлы, отвечающие за обработку и преобразование сигнала. ОИС может включать в себя не только элементы обработки сигнала, но и излучатели, что позволяет создавать компактные приёмо-передающие модули. Это позволит создавать в будущем очень быстродействующие устройства, так как связь ОИС по радиочастоте открывает новые перспективы по скорости обмена информацией между интегральными схемами. Поэтому сегодня перед разработчиками интегральных схем СВЧ стоит задача конструктивной интеграции антенны в схему. В таких модулях целесообразно использовать планарные излучатели, которые могут располагаться на верхнем слое и получать сигнал с нижних слоев, осуществляя функцию приёма и передачи, как показано на рис. 1.

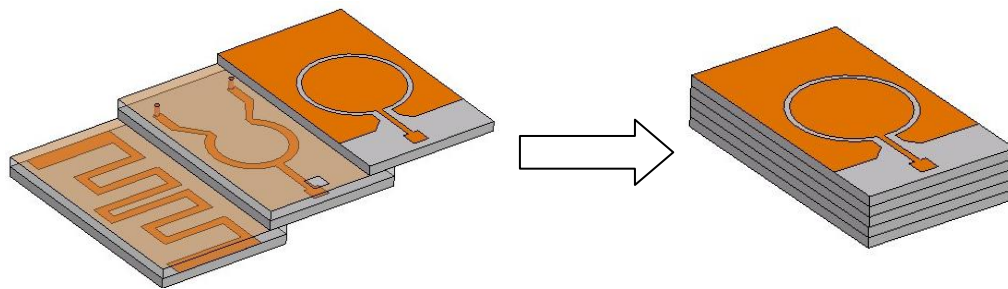


Рисунок 1

В качестве антенн для ОИС СВЧ могут использоваться микрополосковые (МПП) и щелевые излучатели разных форм, а также спиральные планарные излучатели.

Широко используется на СВЧ прямоугольный печатный излучатель (рис. 2а). Основными его недостатками, как и у других МПП излучателей являются узкополосность (единицы процентов), низкий коэффициент усиления, сложность получения

эллиптической поляризации. Диаграмма направленности (ДН) МПЛ излучателя может лежать как в плоскости антенны, так и перпендикулярно ей.

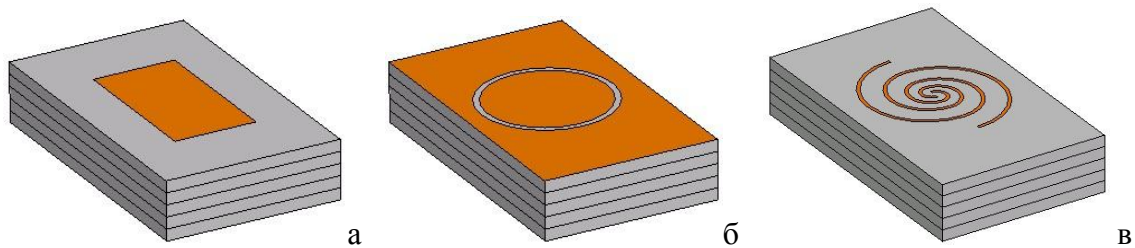


Рисунок 2

Среди щелевых излучателей наиболее распространённой является четвертьволновая щель, используются также щелевые рамки разной формы (круглая, прямоугольная и т.д.). Щелевые излучатели (рис.2б) также являются узкополосными. Однако следует отметить, что особенностью таких антенн, является хорошая излучательная способность, высокая степень интеграции за счёт отсутствия выступающих частей, эллиптически поляризованное поле основной волны H и диаграмма направленности перпендикулярная плоскости антенны. Таким образом, щелевые антенны могут быть использованы для связи с другими модулями ОИС, расположенными друг над другом.

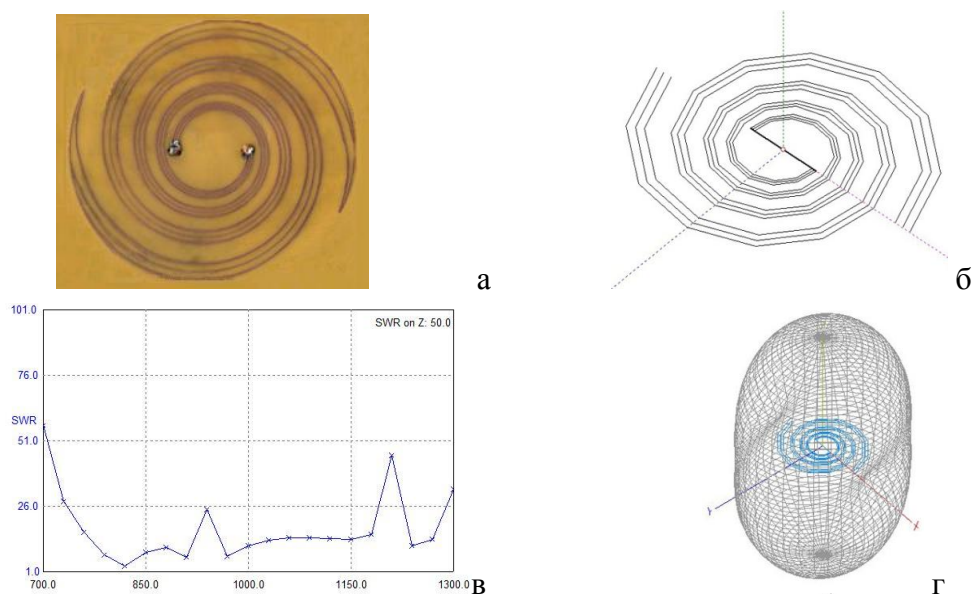


Рисунок 3

Современные тенденции развития РЭА привели к практической потребности в антеннах, обеспечивающих излучение и прием эллиптически поляризованного поля в широком диапазоне частот, сохраняющих неизменность своих основных электрических характеристик. Добиться широкой рабочей полосы частот возможно различными конструктивными решениями, однако, как отмечено выше, зачастую они представляют собой многоэлементные структуры или антенные решетки, к тому же имеющие строго линейную поляризацию. В случае МПЛ и щелевых излучателей предлагается использовать рамочные структуры. При этом высвобождается центральная зона

излучателя, в которой можно разместить такой же излучатель меньшего размера, тем самым расширив полосу. Реализация узкополосных излучателей на подложке, изготовленной из метаматериала, также позволяет значительно улучшить характеристики: увеличить рабочую полосу частот до 10 и более процентов, уменьшить габариты в 2 и более раз, увеличить коэффициент усиления и уменьшить взаимное влияние расположенных рядом излучателей [6].

Однако особого внимания применительно к ОИС СВЧ заслуживают спиральные планарные антенны, которые не только обладают широкодиапазонными свойствами (рис. 3в – КСВн в полосе частот), но и позволяют осуществлять прием и передачу при круговой поляризации. Кроме того, в зависимости от способа питания (синфазное, противофазное) они позволяют получить осевое излучение (рис.3г) или диаграмму направленности в плоскости антенны, что как отмечено выше, позволяет осуществлять связь между модулями ОИС в разных направлениях (рис. 4) [2].

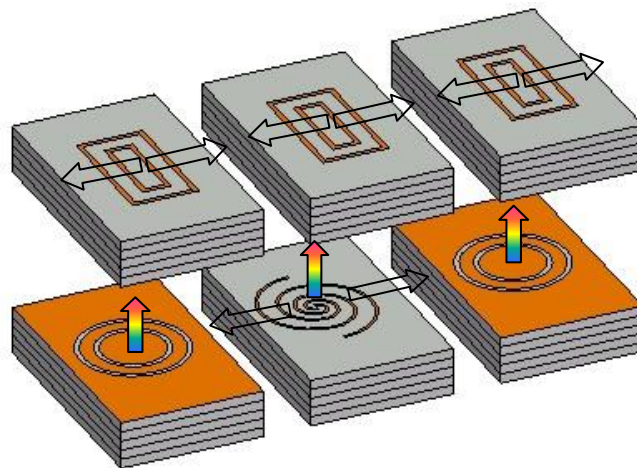
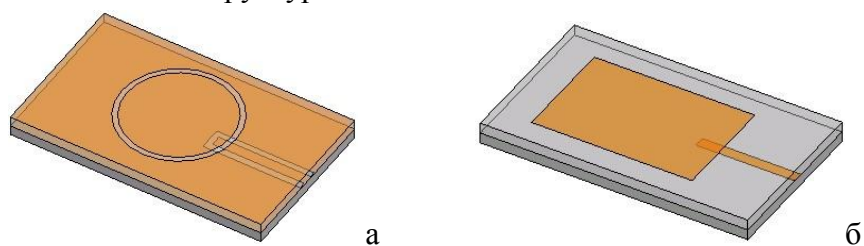


Рисунок 4

Одним из важных вопросов, возникающих в связи с применением печатных антенн, является их питание. Традиционными способами возбуждения планарных излучателей являются коаксиальная линия и волновод. Их использование связано с технологическими и конструктивными сложностями при интеграции в многослойные ГИС. Поэтому были исследованы возможности питания антенн СВЧ ОИС через бесконтактный межслойный переход [1]. Он может представлять собой как возбуждение микрополосковой линией (МПЛ) через апертурную щель, так и возбуждение напрямую самого излучателя с нижележащего слоя. Потери на переходе в этом случае сопоставимы с гальваническим переходом [4]. Особенностью такого питания является узкополосность, что ставит под вопрос возможность его использования с широкополосными антеннами, за исключением тех случаев, когда используется лишь часть возможного частотного диапазона излучателя.

Для питания могут использоваться любые типы планарных линий. Однако, исследование [5] показало, что наиболее эффективным является возбуждение щелевых излучателей при помощи щелевых линий, например, симметричного копланарного волновода (рис. 5а), а печатных излучателей – при помощи микрополосковых линий (рис.

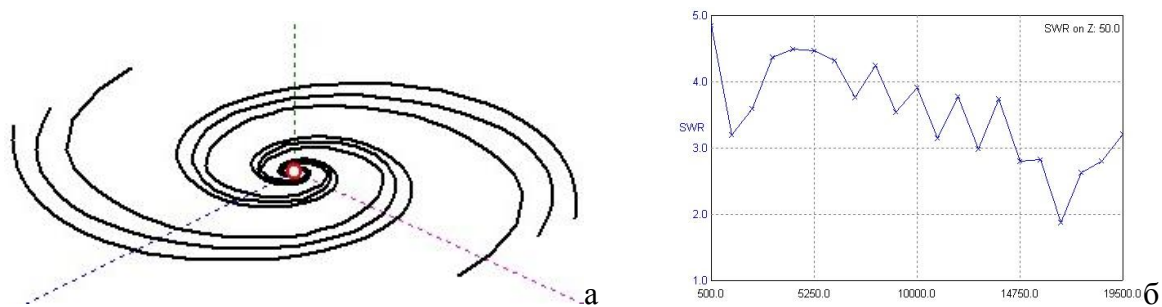
5б). При питании спиральной антенны могут использоваться оба типа линий, так как она является самодополнительной структурой.



а б
Рисунок 5

Как уже было отмечено выше, в структуре ОИС печатная антенна располагается на верхнем слое. При интеграции печатной антенны в ОИС СВЧ необходимым требованием является металлизация подложки, необходимая для защиты остальной части модуля от высокочастотных помех. Металлизация, в свою очередь влияет, на характеристики антенны: резонансную частоту, усиление, импеданс и т.д.

Важным параметром при этом является расстояние до экрана по отношению к длине волны в диэлектрике. В зависимости от этого параметра различают печатные антенны с толстой (толщиной более $0,035\lambda_e$, где λ_e – длина волны в диэлектрике) и тонкой подложкой. Антенны с толстой подложкой используются при необходимости получения широкой рабочей полосы, а также в миллиметровом диапазоне, в котором тонкая подложка по сравнению с длиной волны уже является толстой. Так как использование ОИС предполагается в диапазоне СВЧ, то в зависимости от конструктивных требований может быть обеспечена разная функциональность верхнего слоя с излучателем. Так на рисунке 6б показан график КСВн для двухзаходной спирали с экранированной подложкой (рис. 6а) в диапазоне частот 500 МГц - 19,5 ГГц. Толщина подложки составила λ_e . В зависимости от рабочей частоты были получены как лежащие в плоскости антенны, так и осевые диаграммы направленности.



а б
Рисунок 6

Исследование показало, что максимум коэффициента усиления (КУ) кольцевого щелевого излучателя наблюдается при толщинах подложки между излучателем и линией питания (первый слой) порядка $(0,01-0,05)\lambda_e$ и $(0,65-0,85)\lambda_e$ (рис. 7), ДН ортогональна плоскости. Максимум КУ для прямоугольного излучателя наблюдается при толщине первого слоя $(0,17-0,25)\lambda_e$, ДН тороидальная. Изменение толщины подложки между

линией питания и нижней металлизацией (второго слоя) приводит к появлению дополнительных резонансов, которые с увеличением толщины смещаются вниз по частоте. Использование дополнительных резонансных частот позволяет не только добиться большего КУ, но и выбрать требуемый режим излучения (осевой или в плоскости антенны), а изменение толщины слоя между линией питания и металлизацией позволяет менять характеристики излучателя нужным образом [3].

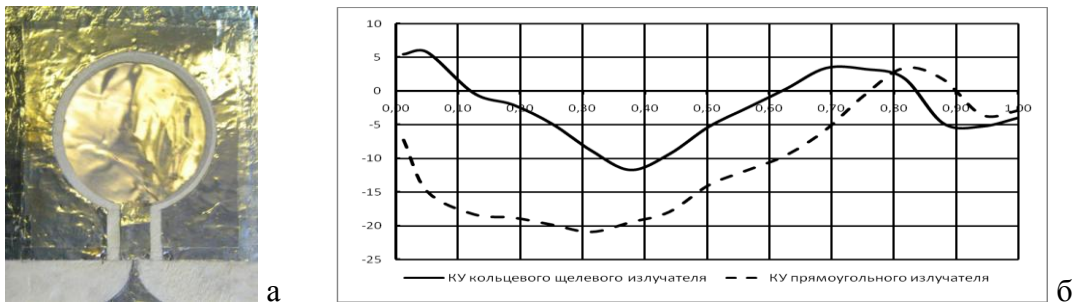


Рисунок 7

Таким образом, можно сделать вывод, что каждая из предложенных структур оптимальна при решении той или иной задачи синтеза ОИС СВЧ, использование предложенных излучателей позволяет решить большинство задач по передаче и приему энергии в ОИС СВЧ.

На данный момент полосковый и щелевой излучатели не только хорошо интегрируются в схемы СВЧ, но и позволяют получать все требуемые характеристики по направленности, поляризации и полному сопротивлению антенны в узкой полосе частот, они легко запитываются и очень технологичны.

Однако, как было отмечено выше, наибольший интерес из предложенных структур представляет спиральная антенна, обладающая широким диапазоном частот, круговой поляризацией и чисто активным сопротивлением, что фактически нивелирует задачу согласования.

Библиографический список

1. Усатова И.А. Симметричное питание печатных излучателей в ОИС СВЧ// XIV Всероссийская научная конференция студентов-радиофизиков: Тез. докл. – СПб.: Изд-во «Соло», 2010. –с. 392-393
2. А.В. Файт, Э.Ю.Седышев. Исследование спиральных антенн с помощью низкочастотной проволочной модели// Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». № 64. 20–24 февраля 2012 года: материалы. – СПб.: Издательство СПбГУТ, 2012–с. 377-379
3. Усатова И.А. Исследование влияния на печатный излучатель конструктивных элементов объёмных интегральных схем СВЧ (ОИС СВЧ)// Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». № 64. 20–24 февраля 2012 года : материалы. – СПб.: Издательство СПбГУТ, 2012–с. 377-379
4. Бочаров А.В. Исследование способов минимизации вносимых потерь в бесконтактных межслойных переходах ГИС СВЧ// XIV Всероссийская научная конференция студентов-радиофизиков: Тез. докл. – СПб.: Изд-во «Соло», 2010. –с. 9-12
5. Усатова И.А. Анализ влияния межслойного питающего перехода на диаграмму направленности излучателя ОИС СВЧ // II Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». № 64. 26–27 февраля 2013 года: материалы. – СПб.: Издательство СПбГУТ, 2013

6. Слюсар В. Метаматериалы в антенной технике: основные принципы и результаты.// Первая Миля, № 3, 2010 – с. 44-60