УДК 621.372.832

16-ти канальный 100-Вт объемный сумматор мощности в диапазоне 2-20 ГГц

А.А. Лицов

АО «Микроволновые системы», г. Москва

Аннотация: в работе представлены результаты «3-d EM» моделирования конструкций 16-ти канальных 100-Вт объемных сумматоров мощности в диапазонах 4-18 и 2-20 ГГц, на основе которых возможна разработка сверхширокополосных мощных усилителей мощности на МИС.

Ключевые слова: усилители на МИС, объемное суммирование, переход с несимметричной щелевой линии на микрополосковую линию, КПД суммирования.

1. Введение

Интерес к проектированию и применению мощных усилителей на МИС с полосой частот намного более октавы связан с активным развитием технологии активных как радиолокационных, так и противорадиолокационных фазированных антенных решеток (АФАР) с применением короткоимпульсных и шумоподобных сигналов, требующих большой мгновенной полосы передающего канала [1], с дальнейшим развитием перехода от вакуумных усилителей к усилителям на МИС.

В последние несколько лет в каталоге фирмы «Qorvo» появилась информация о разработке 100 Вт и более 16-ти канальных усилителей на объемных сумматорах мощности на МИС в диапазоне 2-18 ГГц, а в каталоге фирмы «Neditek» - информация о разработке усилителей на МИС в диапазоне 2-20 ГГц с мощностью до 10 Вт и более. В работе [2] описан объемный сумматор мощности усилителей на МИС на основе перехода с несимметричной щелевой линии на микрополосковую линию, выполненных на подложке типа PCB R04003 толщиной 0,2мм. К недостаткам такого сумматора можно отнести пониженную мощностную прочность из-за пониженной теплопроводности подложки, технологическую сложность изготовления прецизионной топологии для применения в 3-х и 2-х сантиметровых диапазонах. КПД такого сумматора не превышает 75%.

Целью работы является «3-d EM» моделирование конструкций 16-ти канальных 100-Вт объемных сумматоров мощности усилителей на МИС в актуальном в настоящее время диапазоне 4-18 ГГц, и актуальном в перспективе в диапазоне 2-20 ГГц с КПД 80÷90%.

2. Результаты 3-d EM моделирования

Сумматор полагался выполненным на отрезке коаксиальной линии, в котором переходы с несимметричной щелевой линии на микрополосковую линию выполнены на 16-ти подложках, центрально симметрично установленных по радиусу между центральным и внешним проводниками коаксиального отрезка (Рис.1 и 2). Такое расположение подложек, и металлизаций на них обеспечивает максимально эффективное возбуждение несимметричных щелевых линий на входах/выходах переходов электрическим полем ТЕМ-волны в коаксиальной линии. Каждая подложка установлена в призматическую сборочную единицу, состоящую из сектора центрального проводника и сектора внешнего проводника коаксиального отрезка, соединенных металлическим основанием, на которое монтируется подложка. МИС

устанавливается на металлическое основание в разрыв подложки (не изображены на Рис.1) и даже может выходить за пределы внешнего проводника коаксиального отрезка. Сумматор построен на основе переходов: коаксиальная линия- 16-ть переходов «несимметричная щелевая линия- микрополосковая линия-несимметричная щелевая линия»-коаксиальная линия (принцип «back-to-back»). Подложка полагалась выполненной из материала типа «поликор» толщиной 0,5 мм. 50-омная микрополосковая линия на такой подложке способна выдерживать непрерывную СВЧ-мощность около 10 Вт.

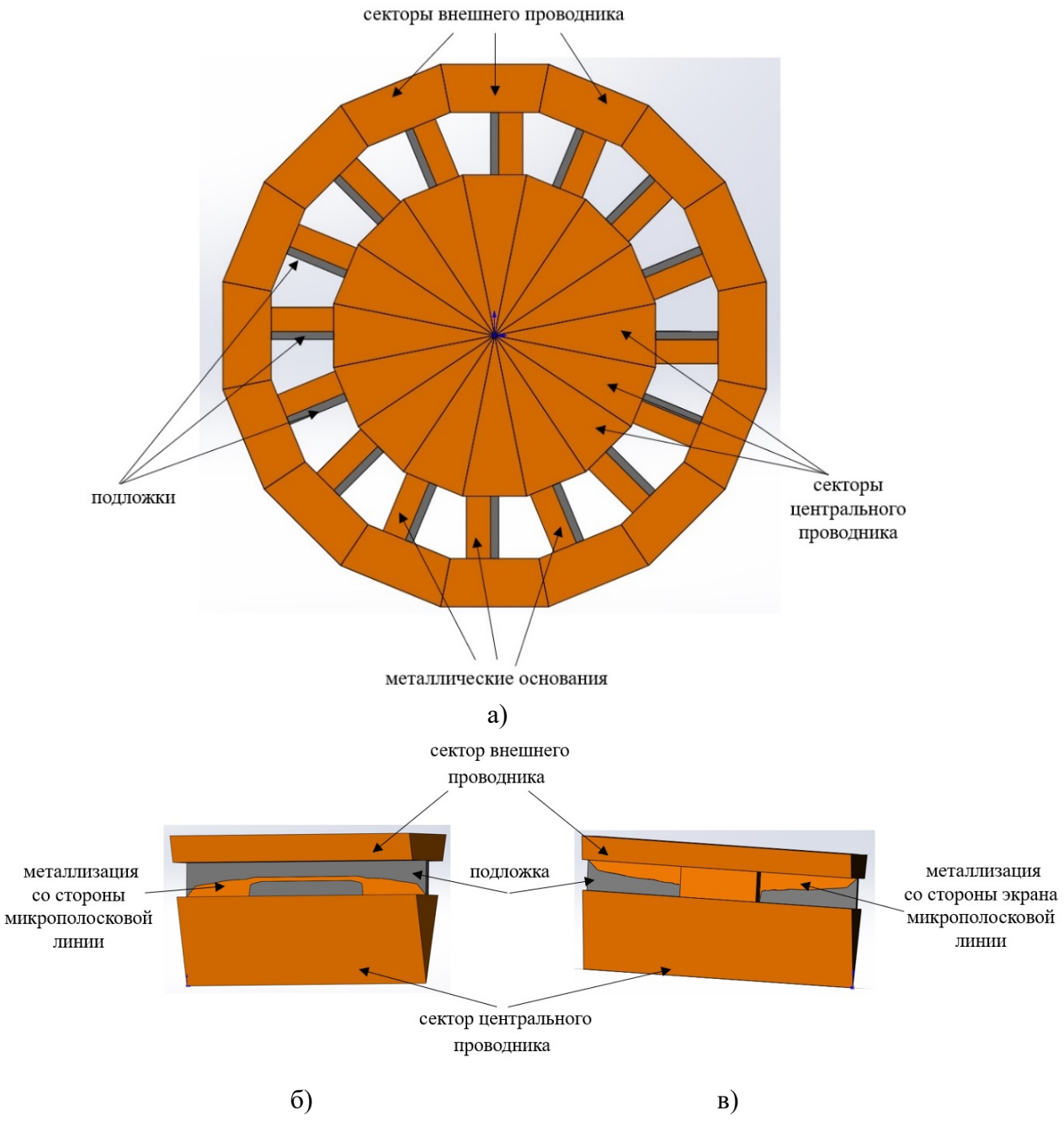


Рисунок 1. Изображение конструкции переходов 16-ти канального сумматора.а) поперечное сечение отрезка коаксиальной линии сумматора,

б) вид на призматическую сборочную единицу со стороны микрополосковой линии,
в) вид на призматическую сборочную единицу со стороны металлического основания.

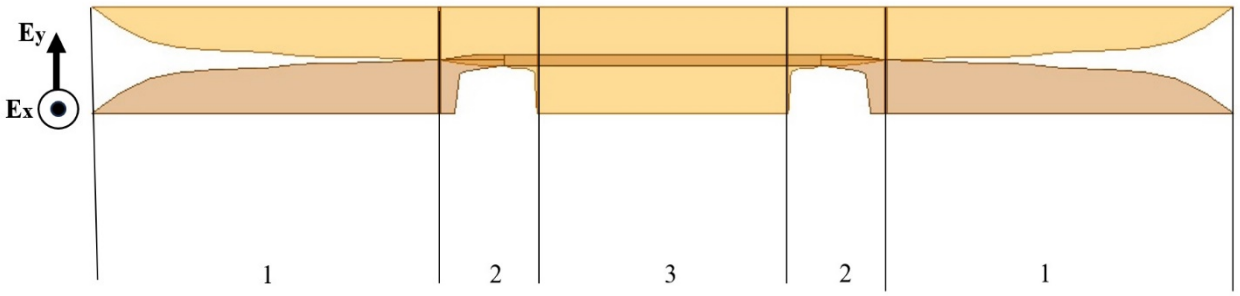
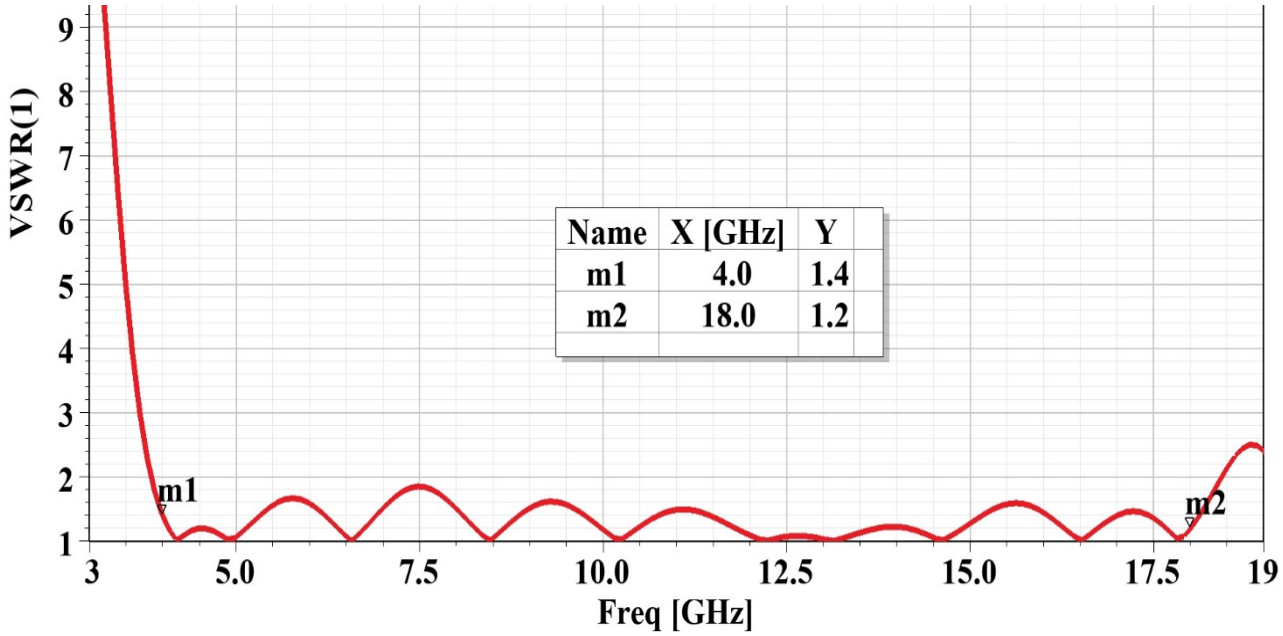


Рисунок 2. Изображение металлизаций перехода с несимметричной щелевой линии на микрополосковую линию с выделением участков с характерным типом волн
1- участок несимметричной щелевой линии по классификации [3], на котором осуществляется трансформации волны ТЕМ-типа коаксиальной линии в волну Н-типа с поляризацией Ey и, далее, в волну со смешанной поляризацией Ex и Ey,
2- участок несимметричной щелевой линии с перехлестом, на котором осуществляется трансформации волны со смешанной поляризацией Ex и Ey в волну ТЕМ-типа микрополосковой линии,
3- участок 50-омной микрополосковой линии с волной ТЕМ-типа.

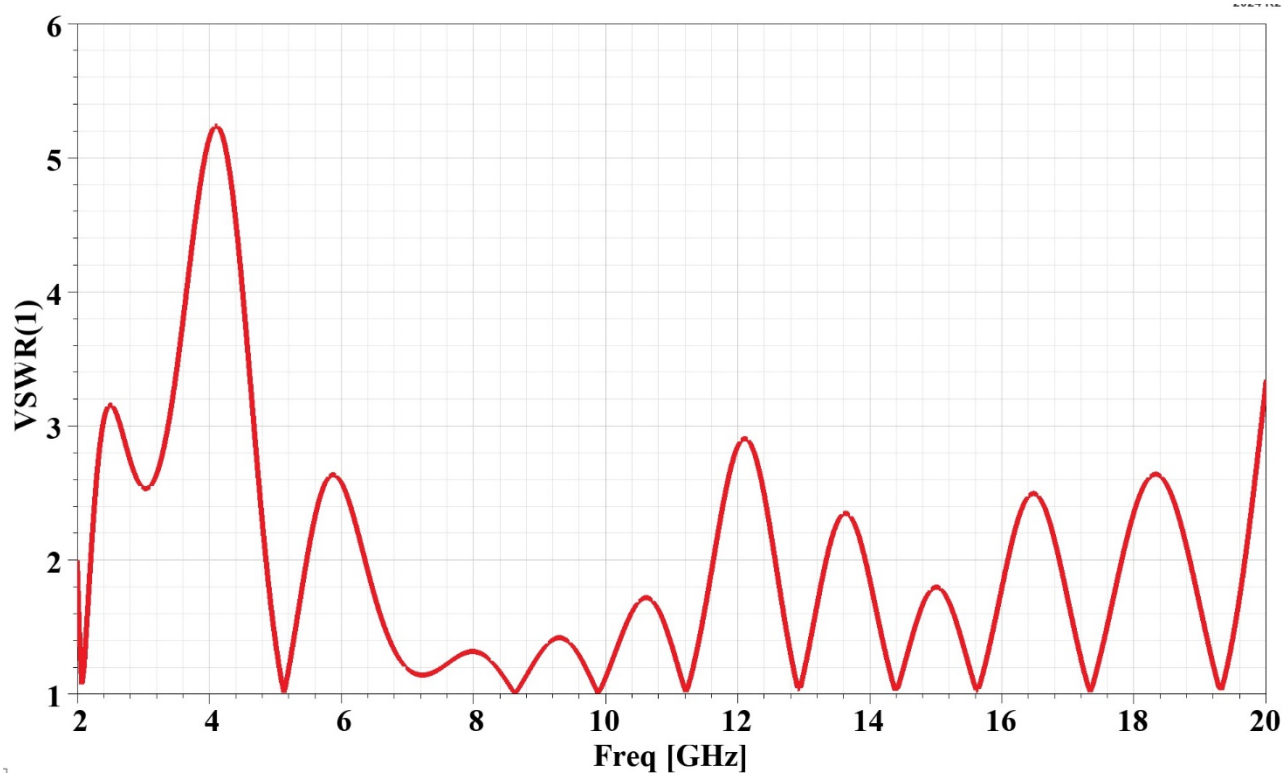
Результаты «3-d EM» моделирования сумматора, в процессе которого производилась оптимизация длины и кривизны границ каждого участка в диапазоне 4-18 ГГц, приведены на Рис.3а. Ширина подложки выбиралась равной 2.7мм, а диаметр центрального проводника коаксиального отрезка выбирался нестандартно большим и равным 20 мм, как это рекомендовано в [2], учитывая, что центральный проводник несет основную тепловую нагрузку в сумматоре. Общая длина переходов составила 37 мм. Длина и толщина основания для МИС выбирались равными 12 мм и 1.5 мм соответственно, что достаточно для размещения на нем мощных усилителей на МИС и эффективного теплоотвода как от усилителя на МИС, так и от центрального проводника сумматора.

Конструкции переходов с коаксиального отрезка сумматора на стандартные входные/выходные коаксиальные разъемы или Н-образные волноводы (не показаны на Рис. 1 и 2) могут быть разработаны после уточнения требований к таким разъемам.

Из анализа параметров сумматора, приведенных на Рис.3а можно сделать вывод о том, что в диапазоне 4-18 ГГц сумма потерь на отражение и вносимых потерь (КСВН в подавляющей части диапазона не более «1.6», и S12, не изображено, не более «-0,4» дБ) составляют величину меньше «1дБ» на два перехода, соединенных «back-to-back», что в итоге соответствует КПД суммирования на один переход около 90 %. С учетом разброса параметров усилителей на МИС, приводящего к дополнительным потерям в сумматоре в «1дБ» [4], КПД суммирования может составить не менее 70 %. В этом случае для получения 100 Вт выходной мощности необходимо иметь 16 шт. усилителей на МИС с мощностью в диапазоне 4-18 ГГц не менее 9 Вт каждый.



а) КСВН сумматора в диапазоне 4-18 ГГц



б) КСВН сумматора в диапазоне 2-20 ГГц

Рисунок 3. Результаты «3-d EM» моделирования сумматора в диапазонах а) 4-18 ГГц, б) 2-20 ГГц

Резкое возрастание вносимых потерь на частотах ниже 4 ГГц может быть связано со слабым преобразованием поляризации Ey в Ex, и тем, что для поляризации Ey металлическое основание для подложки и МИС является короткозамкнутой нагрузкой. Для увеличения диапазона до 2-20 ГГц необходимо увеличивать длину переходов и увеличивать индуктивный импеданс металлизаций на участке 1 (Рис.2). Для увеличения импеданса необходимо увеличивать ширину подложки. Ширина подложки выбиралась равной 3,1мм, и была ограничена влиянием возбуждения в

подложке паразитного типа H_{20} на участках с несимметричной металлизацией 3 и 4 (Рис.2), существенно искажающего характеристики сумматора.

Результаты «3-d EM» моделирования сумматора в диапазоне 2-20 ГГц приведены на Рис.3б, из анализа которых можно сделать вывод о том, что в диапазоне 2-20 ГГц сумма потерь на отражение и вносимых потерь (КСВН в подавляющей части диапазона не более «2,5», и S12, не изображено, не более «-1» дБ) составляют величину меньше «3дБ» на два перехода, соединенных «back-to-back», что в итоге соответствует КПД суммирования на один переход более 80 %. С учетом разброса параметров МИС усилителей, приводящего к дополнительным потерям в сумматоре в «1дБ», КПД суммирования может составить не менее 60 %. В этом случае для получения 100 Вт выходной мощности необходимо иметь 16 шт. МИС усилителей с мощностью в диапазоне 2-20 ГГц не менее 11 Вт каждый, или увеличивать число каналов в сумматоре.

Перспективным может быть «3-d EM» моделирование сумматора на подложке из окиси бериллия. Такая подложка, по сравнению с подложкой их поликора обеспечивает более высокую мощностную прочность и повышенную широкополосность сумматора, так значение диэлектрической проницаемости окиси бериллия меньше, чем у поликора. При этом щелевая линия будет характеризоваться повышенной широкополосностью, близкой к «fin-line», выполненной на подложке из материала с низкой диэлектрической проницаемостью типа «Rogers, PCB».

Необходимо отметить, что при увеличении разброса параметров усилителей на МИС, увеличивается асимметрия поля в коаксиальном отрезке сумматора, что при выбранном диаметре центрального проводника и ширине подложки приводит к увеличению возбуждения в диапазонах 4-18 и 2-20 ГГц паразитных типов волн H_{11}, H_{21}, H_{31}, которые могут существенно исказить характеристики сумматора.

3. Заключение

В результате «3-d EM» моделирования 100 Вт 16-ти канального объёмного сумматора усилителей на МИС показана принципиальная возможность его реализации для работы в диапазоне 4-18 ГГц с КПД суммирования не менее 90 %, и в диапазоне 2-20 ГГц с КПД суммирования не менее 80%.

Список литературы

1. Кищинский А.А. Сверхширокополосные твердотельные усилители мощности СВЧ-диапазона: схемотехника, конструкции, технологии // Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2018. С. 4–13.
2. H. Javadi-Bakhsh, Reza Faraji-Dana. A wideband twenty-element microwave spatial power combiner // June 2014 Scientia Iranica 21(3): 853-860.
3. Гвоздев В.И., Нефедов Е.И. Объемные интегральные схемы СВЧ. // М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1985.
4. Гармаш С.В., Кищинский А.А. Сравнительный анализ схем суммирования мощности СВЧ усилителей с октавной полосой частот // Режим доступа: http://mwsystems.ru/attach/article/12.pdf (дата обращения 15.04.2014).