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 16ти 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 (AФAP) 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 РСВ 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 ЕМ 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.





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 Еу и, далее, в волну со смешанной поляризацией Ех и Еу, 2- участок несимметричной щелевой линии с перехлестом, на котором осуществляется трансформации волны тем-типа коаксиальной поляризацией Ех и Еу, 2- участок несимметричной щелевой линии с перехлестом, на котором осуществляется трансформации волны со смешанной поляризацией Ех и Еу 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.За. 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.За 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.



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 Еу в Ех, и тем, что для поляризации Еу 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 Н₂₀ 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.36, 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 Н11, Н21, Н31, 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.
- Гвоздев В.И., Нефедов Е.И. Объемные интегральные схемы СВЧ. // М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1985.
- 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).