

УДК

# Сверхширокополосный делитель-сумматор мощности на основе моста Уилкинсона

А.Х. Курбанов, Б.В. Калинин

ООО «Микровейв АйСи»

**Аннотация:** в данной работе рассматриваются процесс разработки, оптимизации и верификации топологии моста Уилкинсона. Известно, что слабое место моста Уилкинсона в широкой полосе является его согласование по входу из-за возникновения неоднородности Т-типа. Это ведёт к ухудшению КСВН по входу. Данный эффект не проявляется по симметричным выходам, так как не содержит никаких неоднородностей. В данной работе рассматривается топология нового типа, которая уменьшает влияние данного эффекта, что ведёт к существенному расширению рабочей полосы.

**Ключевые слова:** широкополосный мост Уилкинсона, Ro4003С, стандартные СВЧ материалы печатных плат, критерии оптимизации.

## 1. Введение.

В современном радиотехническом и радиофизическом оборудовании существует актуальная задача эффективного и точного амплитудного и фазового распределения радиочастотной энергии между несколькими нагрузками. Особенно сложно это осуществить в широкополосных системах связи, радарных станциях, системах измерения и научных экспериментах, где требуется сохранять стабильные характеристики распределения СВЧ мощности в широком диапазоне частот.

Наиболее популярными решениями в области делителей мощности являются резонансные и многосекционные схемы, однако в условиях необходимости обеспечения высокой точности, низких потерь и широкого диапазона работы они уступают конструкциям на базе специальных балансных схем, таких как мост Уилкинсона. Такой мост характеризуется высокой стабильностью характеристик, высокой точностью балансировки и возможностью использования широкополосных компонент, что делает его идеальной основой для разработки современных делителей СВЧ.

Исторически разработка широкополосных делителей на основе моста Уилкинсона связана с необходимостью обеспечить равномерное распределение мощности без существенных искажений и дополнительных потерь, а также сохранить стабильность характеристик в диапазоне частот, достигающем десятки и сотни гигагерц. Основное преимущество данной схемы — её широкополосная характеристика, которая достигается за счёт правильного выбора параметров элементов и использования конструктивных средств компенсации паразитных эффектов.

## 2. Обзор аналогов.

В качестве отправной точки для разработки топологии моста Уилкинсона были взяты ряд статей, книг и публикаций. В таблице 1 указаны типичные значения порядка и полосы мостов Уилкинсона. Из таблицы видно, что с повышением порядка моста ширина полосы в среднем растёт. К сожалению, растут и потери. Поэтому необходимо найти оптимум между полосой и потерями.

Таблица 1 Типичные значения моста Уилкинсона.

Порядок	1	2	3	4	6	8	10
Полоса, ГГц	0.5-5 [1]	3-11[2]	0.2-2.5[3] 0.5-7[4] 2-11[5-6] 3-11[7] 2-12[8] 3-26[9]	3-13[10] 2-18[11]	8-67[12]	0.5-20[13]	1-20[14]

## 2. Расчётные значения.

При разработке топологии делителя мощности очень большое значение играет согласование входа делителя (рис 1) непосредственно со всей остальной структурой моста. В литературе описаны разные способы, от простого Т-сочленения [1-11], до сложных резистивно-ёмкостных цепей [12]. Лучшие результаты получаются при реализации на поликоре с точностью формирования топологии до 5 мкм.

В качестве критериев для синтеза и оптимизации, помимо согласования по входу, ширины полосы, потерь и развязки, были взяты: простота изготовления по стандартной технологии (ширина проводника - 0.15мм/ зазор - 0.15мм), стандартный СВЧ диэлектрик Ro4003С (или аналогичный), слабая чувствительность к технологичному разбросу и занимаемая площадь топологии. По входу оптимизировался угол между ветвями Y-сочленения и перепад толщин трансформаторов импеданса. В самой структуре оптимизировались радиус и толщина полуколец. В процессе оптимизации получилась топология 6-го порядка, показанная на рис 2. При расчётах были использованы идеальные резисторы.



Рисунок 1 Входная цепь

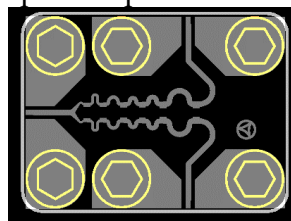


Рисунок 2 Топология моста Уилкинсона на печатной плате

Моделирование в специализированной системе электромагнитного моделирования САПР позволило получить топологию с характеристиками, указанными на графике (рис 3) и расчётной полосой до 43 ГГц.

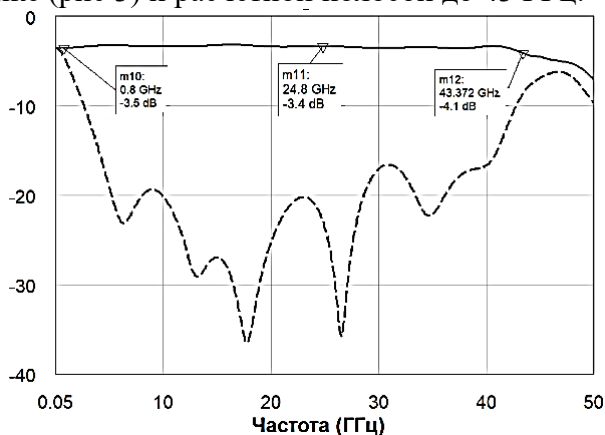
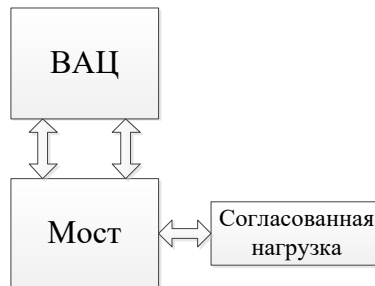


Рисунок 3. Коэффициент передачи и развязка между выходами моста Уилкинсона (расчётные значения)

На последнем этапе разработки, перед производством, идеальные резисторы были заменены на S-параметры реальных резисторов отечественного производителя. До 10 ГГц разработанная топология с characterized резисторами показала хорошее совпадение с идеальными. Выше 10 ГГц резисторы characterized не были.

### 3. Результаты измерения.

Для верификации характеристик трёхпортового моста использовался двухпортовый ВАЦ с полосой от 10 МГц до 24 ГГц. Стенд для измерения показан на рис 4.



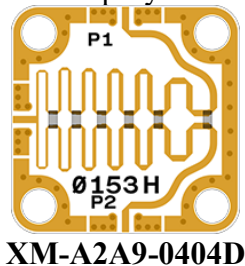
**Рисунок 4** Стенд для измерения моста Уилкинсона

Данный мост разрабатывался для применения в отечественном конструкторе быстрого прототипирования СВЧ устройств (СВЧ-КИТ). В качестве сравнения мы взяли похожий делитель мощности от компании X-Microwave (США), которые разрабатывают похожий конструктор. Ниже указаны основные измеренные характеристики.

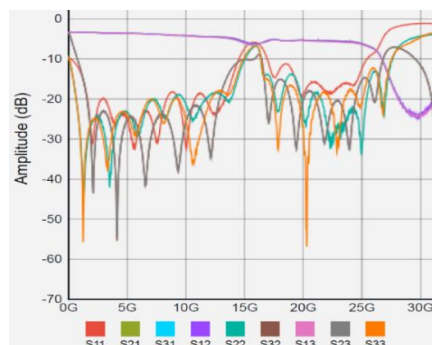
Таблица 2 Делители Уилкинсона в составе СВЧ-конструктора.

Название	Частотный диапазон, ГГц	Резисторы	Производитель
XM-A2A9-0404D	2-12	Vishay	X-Microwave
MW-PDIV07-0304	0,5-20 (характеризовано)	Эркон	ООО "Микровейв АйСи"

Ниже указаны результаты сравнения характеристик этих мостов 6-го порядка.



**Рисунок 5** Внешний вид мостов Уилкинсона



**Рисунок 6** Измеренные S-параметры XM-A2A9-0404D

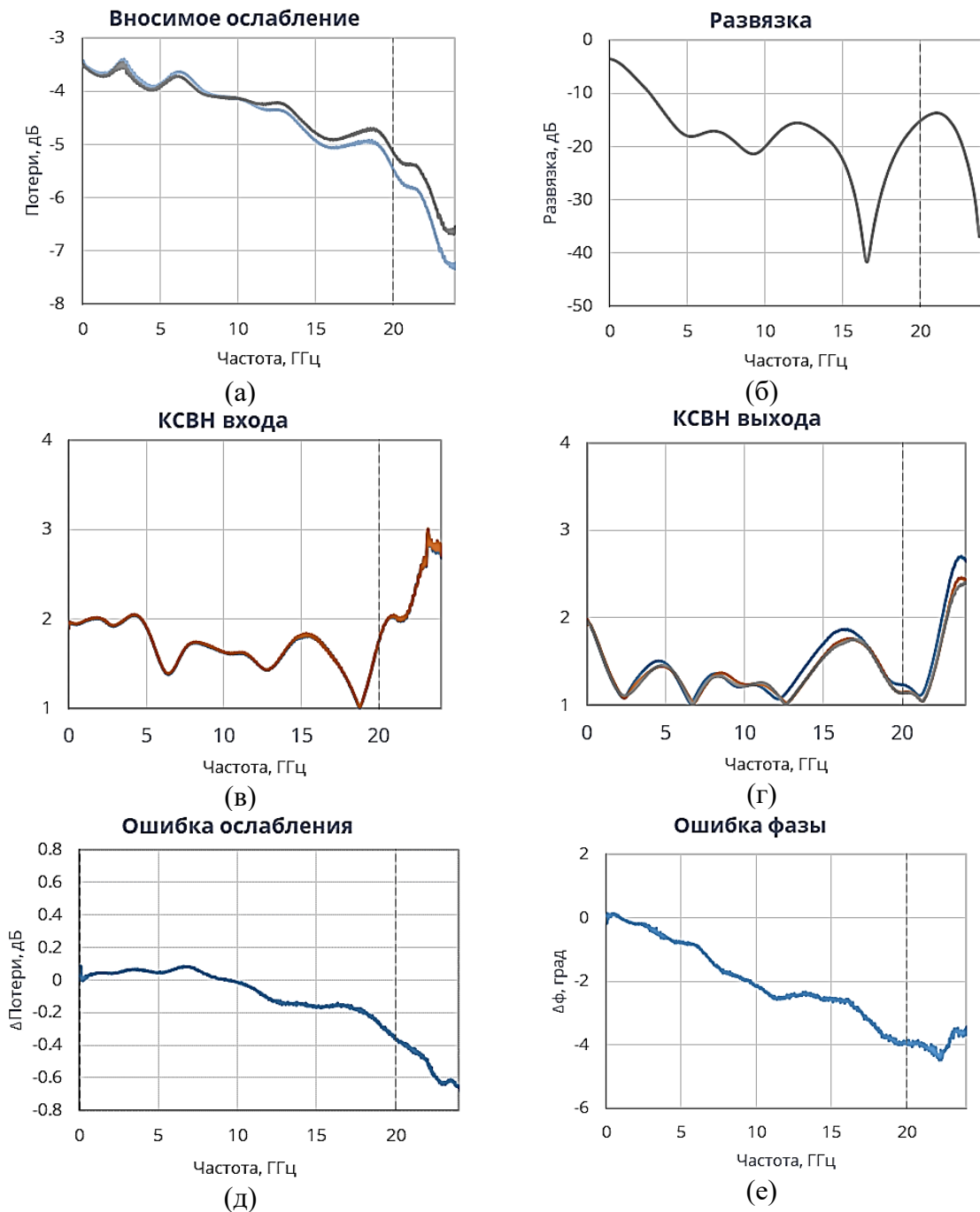


Рисунок 7 Измеренные S-параметры MW-PDIV07-0304 (а-е)

#### 4. Заключение

Измеренные характеристики моста показали хорошее совпадение с расчётными значениями до 24 ГГц. Представленное топологическое решение использует точность обычных технологий производства печатных плат. Данная топология позволяет не использовать более дорогие и хрупкие решения, например, поликор, а обойтись ходовым СВЧ материалом, таким как Rogers 4003С. Также данная топология показала хорошую повторяемость параметров при производстве. В дальнейшем, при возможности, мы планируем характеризовать данный мост Уилкинсона до 50 ГГц.

Таблица 3 Основные технические характеристики моста MW-PDIV07-0304

Наименование параметра	Буквенное обозначение параметра	Типовое значение параметра	Единица измерения
Диапазон частот	$\Delta F$	0,5–20	ГГц
Вносимое ослабление		5	дБ
Входная мощность		30	дБм
Ошибка ослабления		0,35	дБ
Ошибка фазы		4	°
Развязка		-15	дБ
КСВН входа	$K_{стУвх}$	2	–
Размер моста	д×ш	7.2×3.7	мм
Размер платы	д×ш×в	14,9×19,9×1,4	мм

### Список литературы

1. A. Sardi, A. Ennajih, J. Zbitou, A. Errkik “Design of a Novel Microstrip Ultra-Wideband Power Divider for WLAN and Sub-6 GHz 5G Application” // International Journal of Intelligent Engineering & System – 2023, pp. 366-374.
2. Shaimaa A. Osman, Ayman M. El-Tager, Fawzy Ibrahim, and Ismael M. Hafez “Two-Way Modified Wilkinson Power Divider for UWB Applications Using Two Sections of Unequal Electrical Lengths” / Progress In Electromagnetics Research C, - 2016, Vol. 68, pp. 221–233.
3. A. I. Omi, R. Islam, M.A. Maktoomi, C. Zakzewski, P. Sekhar “A Novel Analytical Design Technique for a Wideband Wilkinson Power Divider Using Dual-Band Topology”//MDPI Sensors – 2021, pp. 1-19.
4. D.-J. Go, B.-C. Min, M.-J. Kim, H.-C. Choi, K.-W. Kim \* “Compact Ultra-Wideband Wilkinson Power Divider in Parallel Stripline with Modified Isolation Branches” //MDPI Sensors – 2024, pp. 1-12.
5. B. Mishra, A. Rahman, S. Mondal, P. P. Sarkar, S. Shaw, M. Mohd, “Design of an ultra-wideband Wilkinson power divider” // Santanu Mondal Conference Paper – 2014
6. C.-T. Chiang, B.-K. Chung “Ultra Wideband Power Divider Using Tapered Line” //Progress In Electromagnetics Research, Vol. 106, - 2010, pp. 61-73.
7. K. Shamaileh, M. Almalkawi, V. Devabhaktuni, N. Dib, B. Henin, A. Abbosh “Non-Uniform Transmission Line Ultra-Wideband Wilkinson Power Divider” // Progress In Electromagnetics Research, Vol. 44, - 2013, pp. 1-11.
8. K. Rajkamal, Dr. I.Govardhani “Miniaturized ultra wideband planar Wilkinson power divider” // International Journal of Pure and Applied Mathematics – 2017, Volume 11, No 18, pp. 135-141.
9. F. Razzaz, S. M. Saeed, M. A. S. Alkanhal “Compact Ultra-Wideband Wilkinson Power Divider Using Linearly Tapered Transmission Lines” // MDPI Electronics – 2022, pp. 1-10.
10. R. N. Yuniar, T. Hariyadi, A. Saripudin, B. Mulyanti “Design of a compact UWB Wilkinson Power Divider using ring structured and tapered line matching transformer” // ISMEE – 2019, pp. 1-5.
11. E. Tutkur “Wideband Directional Couplers and Power Splitters” // Department of Earth & Space Sciences? Gothenburg, Sweden, Master’s Thesis – 2014, pp 37-39.
12. Н. Б. Дроботун “Сверхширокополосные СВЧ Устройства Модулей Приёма Падающих и Отражённых Волн Векторных Анализаторов Цепей” // Диссертация на соискание учёной степени К.Т.Н. – 2017, стр. 33-52.
13. O. Unlu “Ultra Wideband Tapered Power Combiner/Divider” // S. S. in Electrical and Electronics Engineering - 2014, pp. 49-50.
14. N. Mungara, K. P. Ray “Design of super wide band 3 way power divider/combiner” //IET Microwaves, Antennas & Propagation – 2024, pp. 1-8.