

УДК 629.372413.47.45.99 DOI 10.30894/issn2409-0239.2018.5.2.34.39

Компактный СВЧ делитель мощности с развязкой между входами

В. Г. Алыбин, д. т. н., *otdelenie17@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

С. А. Зарапин, *otdelenie17@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

С. А. Яхутин, *otdelenie17@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

С. В. Авраменко, к. т. н., *otdelenie17@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. В работе представлен новый компактный СВЧ делитель мощности с развязкой между входами, количество которых может быть выбрано от одного до четырех, а количество выходов — от двух до четырех; входной сигнал поступает на один из входов и делится поровну между выходами. Независимо от числа используемых выходов, коэффициент передачи с одного из входов на любой выход с учетом потерь в линиях не превышает 6,8 дБ. Делитель мощности выполнен на четырех мостах «Ланге», образующих в плане квадрат. Представлены конструкция макета и экспериментальные характеристики в С-диапазоне частот. Делитель мощности может успешно применяться в СВЧ-устройствах перекрестного резервирования бортовой аппаратуры командно-измерительной системы.

Ключевые слова: СВЧ делитель мощности, направленный ответвитель, мост «Ланге», связанные линии

Compact UHF Power Divider with Decoupling Between the Inputs

V. G. Alybin, Dr. Sci. (Engineering), *otdelenie17@spacecorp.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

S. A. Zarapin, *otdelenie17@spacecorp.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

S. A. Yakhutin, *otdelenie17@spacecorp.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

S. V. Avramenko, Cand. Sci. (Engineering), *otdelenie17@spacecorp.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper deals with a new compact UHF power divider with decoupling between inputs, the amount of which may be chosen from 1 to 4, and a number of outputs can vary from 2 to 4. The input signal is fed to the one of the inputs and divided into equal parts between the outputs. Transmission factor from one of the inputs to any output independent of the number of the outputs does not exceed 6,8 dB. The power divider is implemented on four Lange bridges, which in the plane are formed the square. The construction of the model and experimental results are presented in the C-band. The power divider is successfully used in UHF units of the cross reservation for the onboard equipment of a command and measurement system.

Keywords: UHF power divider, directional coupler, Lange bridge, coupled lines

Введение

Для обеспечения большого срока активного существования бортовой аппаратуры космических аппаратов требуется объединять в резервируемую группу до четырех СВЧ-приборов с помощью компактных устройств перекрестного резервирования, с обеспечением развязки между входами. Такими устройствами являются пассивные делители мощности.

Известны делители мощности $n \times m$, выполненные по бинарной схеме [1]. Делители данного типа синтезируются с использованием базовых элементов, включающих направленные ответвители, фазовращатели, аттенюаторы и т. д. [2]. Недостатки таких решений заключаются в избыточном количестве базовых элементов, ограничении ширины рабочей полосы, сложности согласования, в неоптимальных массогабаритных характеристиках.

Для применения в бортовой аппаратуре командно-измерительной системы (БА КИС) космических аппаратов (КА) рационально применение делителей мощности до делителя мощности « 3×3 ». Целесообразной является разработка такого делителя мощности, который позволял бы использование его в отдельном корпусе или интегрально в составе СВЧ-прибора, обладал бы минимальными потерями, хорошей развязкой по входам и выходам, приемлемым КСВ в заданном диапазоне частот, имел бы минимальные габариты и массу.

В делителе мощности « 3×3 » устранены недостатки, свойственные делителям, выполненным по бинарной схеме, что обеспечивает увеличение числа развязанных входов до четырех и развязанных выходов до четырех. Это особенно важно при соединении антенно-фидерного устройства с приемными устройствами, когда используется до 3 антенн с резервированными маломощными усилителями и троированные приемо-передающие устройства. Многополюсные распределители СВЧ-мощности, например, « 3×3 », используются в БА КИС для перекрестного резервирования троированных комплектов приемо-передающих устройств и усилителей мощности.

1. Устройство делителей мощности

На рис. 1 представлена электрическая схема делителя мощности « 3×3 » для бортовой аппаратуры

командно-измерительной системы [3], где «1», «2», «3», «4» — обозначения микрополосковых направленных ответвителей со связью 3 дБ. Микрополосковые отрезки связанных линий 1 и 3 подключены к входам 1, 2, 3 или 4, а микрополосковые отрезки связанных линий 2 и 4 — к выходам 1, 2, 3 или 4 соответственно. На одном из концов микрополосковых направленных ответвителей «2» и «3» размещены согласованные нагрузки $R1$ и $R2$.

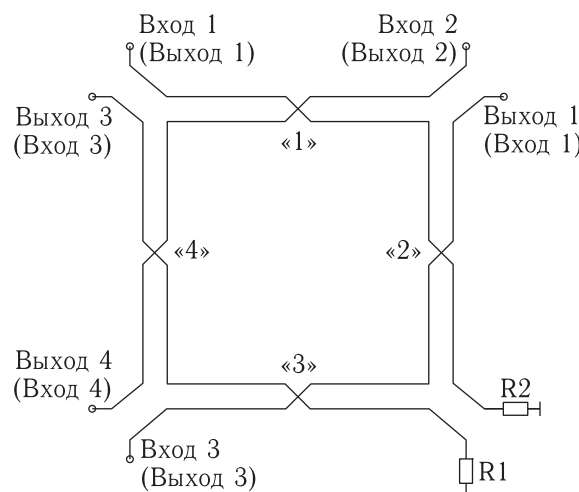


Рис. 1. Делитель мощности « 3×3 »

На рис. 2–4 представлены структурные схемы делителей мощности « 4×4 », « 4×2 », « 3×2 », представляющие собой модификации схемы « 4×4 ».

В общем случае делитель « 4×4 » предназначен для разветвления мощности сигнала, поданного

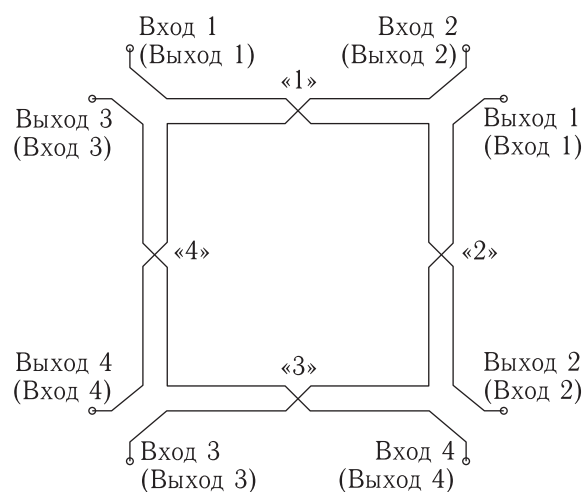


Рис. 2. Делитель мощности « 4×4 »

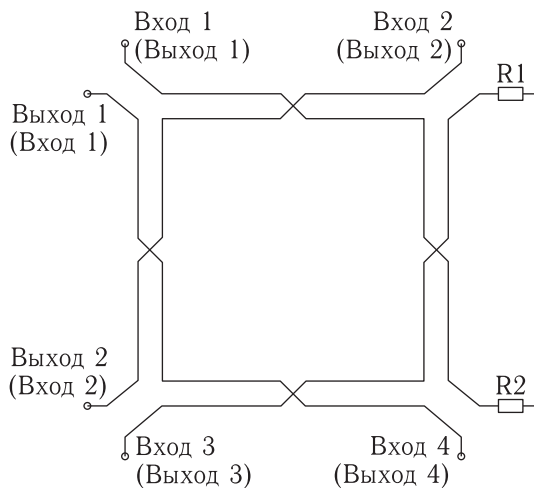


Рис. 3. Делитель мощности «4 × 2»

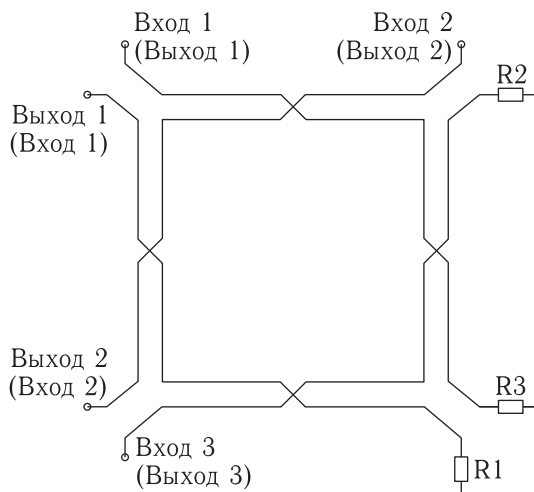


Рис. 4. Делитель мощности «3 × 2»

на один из четырех входов на четыре выхода. Таким образом, на выходах «Выход 1», «Выход 2», «Выход 3», «Выход 4» присутствуют сигналы, ослабленные на 6 дБ по отношению к мощности входного сигнала P_a (без учета потерь в связанных линиях 1, 2, 3, 4). Аналогичным образом при подаче сигнала P_a или на «Вход 2», или на «Вход 3», или на «Вход 4» на выходах «Выход 1», «Выход 2», «Выход 3», «Выход 4» будут присутствовать сигналы, ослабленные на 6 дБ по отношению к мощности сигнала P_a . Представленная схема делителя «4 × 4» обеспечивает развязку между входами «Вход 1», «Вход 2», «Вход 3», «Вход 4», а также между выходами «Выход 1», «Выход 2», «Выход 3»,

«Выход 4» не менее 20 дБ. Таким образом, подтверждена возможность использования данного делителя, работающего по схеме «4 × 4», для обеспечения резервирования бортовой СВЧ-аппаратуры космического аппарата, в частности усилителя мощности в БА КИС.

При подключении к одному из входов делителя мощности согласованной нагрузки реализуется схема «3 × 4», а при подключении согласованных нагрузок к другим концам мостов Ланге можно создавать другие делители: «4 × 3», «3 × 3», «3 × 2», «2 × 3». Можно делать делители «2 × 2» и «1 × 2», однако для их реализации существуют более компактные схемы.

Оригинальность конструкции предложенного делителя мощности заключается в использовании мостов Ланге, для которых характерно наличие пересечения отрезков связанных линий в их середине, как показано на рис. 5.

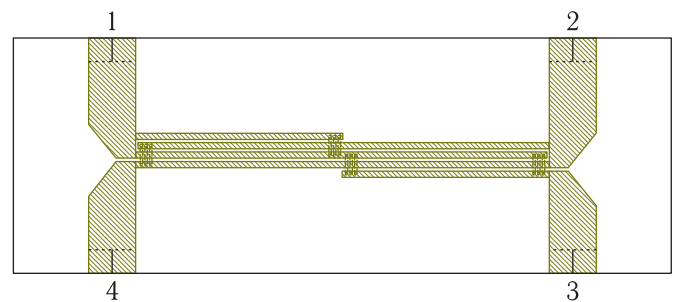


Рис. 5. Топология моста Ланге

Именно это свойство мостов Ланге позволило реализовать компактный делитель мощности с четырьмя мостами Ланге, расположенными один по отношению к соседнему с ним под прямым углом.

2. Моделирование и экспериментальные исследования делителя мощности

При моделировании делителя мощности «3 × 3» учитывались возможные разбросы параметров керамики, а также разброс параметров конструктивных элементов всего делителя, включая форму и длину перемычек, соединяющих соответствующие проводники. Моделирование проводилось для материала

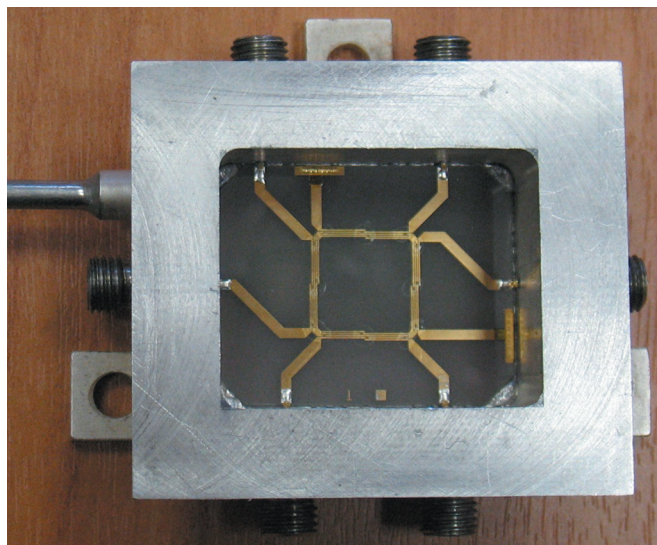


Рис. 6. Внешний вид макета делителя мощности «3 × 3»

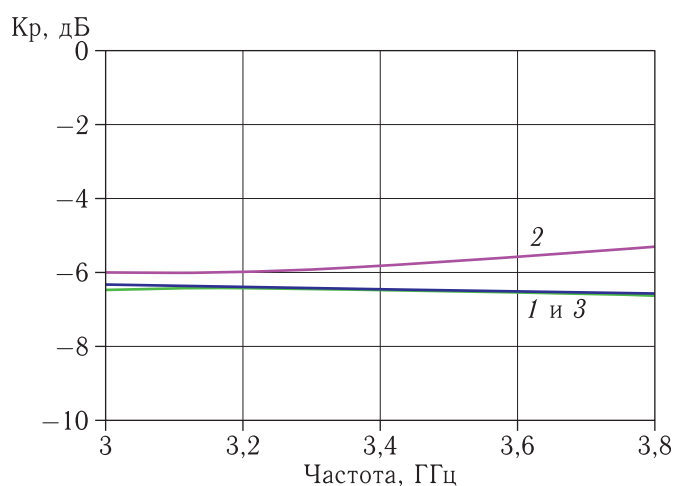


Рис. 7. Зависимость коэффициента передачи в делителе мощности «3 × 3» от частоты: 1 — со входа 1 на выход 2, 2 — со входа 1 на выход 3, 3 — со входа 2 на выход 3

подложки «Поликор» с характеристиками $\epsilon_r = 9,6 \pm 0,2$, $\text{tg } \delta = 10^{-4}$, толщиной $h = 1$ мм. При изготовлении печатной платы технологический «подтрав» металлических проводников составлял не более 10 мкм на сторону.

Внешний вид делителя мощности показан на рис. 6.

Изготовление делителя «3 × 3», размещенного в отдельном герметичном корпусе, производилось по типовой технологии изготовления плат СВЧ-устройств. Сопротивление напыленных балластных

резисторов R1, R2 регулировалось с помощью лазерного луча.

Результаты исследования параметров изготовленных делителей мощности «3 × 3» представлены на рис. 7–10, из которых можно видеть, что характеристики делителей мощности «3 × 3» имеют незначительный разнос по резонансной частоте, что объясняется отличием ϵ_r от ее номинального значения и технологическим запасом на «подтрав».

В результате исследований получены значения основных параметров делителя:

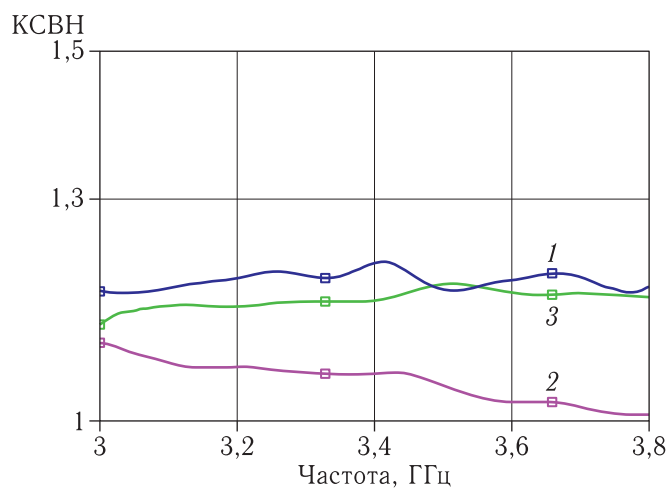


Рис. 8. Зависимость КСВН входов 1, 2 и 3 делителя мощности «3 × 3» от частоты

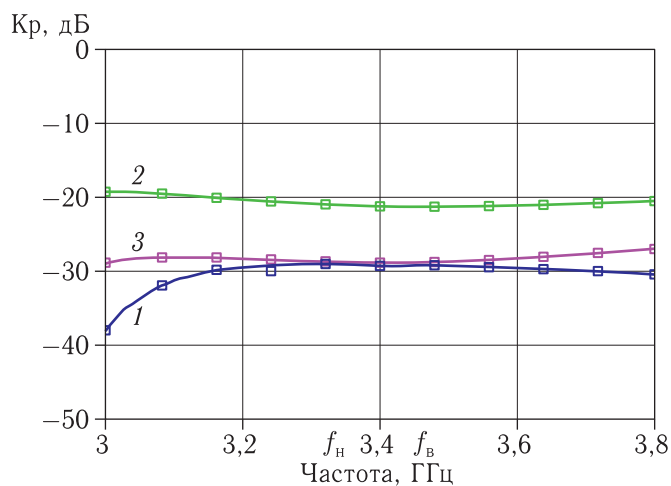


Рис. 9. Зависимость коэффициента передачи (Кр) между входами делителя мощности «3 × 3» от частоты: 1 — между входами 1 и 2, 2 — между входами 1 и 3, 3 — между входами 2 и 3

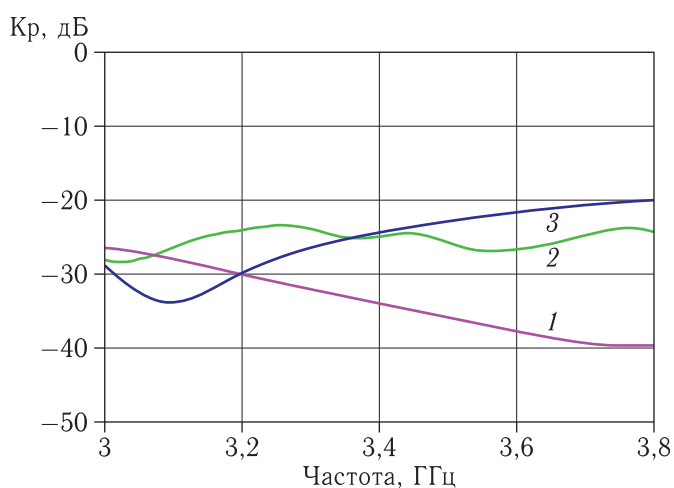


Рис. 10. Зависимость коэффициента передачи (Кр) делителя мощности «3 × 3» от частоты: 1 — с выхода 1 на выход 2, 2 — с выхода 1 на выход 3, 3 — с выхода 2 на выход 3

- коэффициент передачи со входа на выход составляет не более $-6,8$ дБ;
- развязка между входами и выходами не менее 23 дБ;
- КСВН входов или выходов — не более 1,15 дБ.

Измеренные электрические характеристики делителей мощности «3 × 3» подтверждают правильность выбора параметров математической модели, хорошо совпадают с результатами расчета.

Заключение

Показаны результаты разработки компактного делителя мощности С-диапазона частот, способного работать с числом входов и выходов от двух до четырех. Особенность конструкции и достигнутые

экспериментальные параметры позволяют использовать его как автономное устройство, так и как составную часть усилителя мощности БА КИС в качестве устройства перекрестного резервирования.

Список литературы

1. *Модель З.И.* Устройства сложения и распределения мощности высокочастотных колебаний. М.: Советское радио, 1980. С. 100, 102.
2. Устройства СВЧ // Под ред. Д.М. Сазонова. М.: Высшая школа, 1981. С. 147.
3. *Алыбин В.Г., Зарапин С.А., Яхутин С.А., Авраменко С.В.* Делитель мощности для бортовой аппаратуры космического аппарата, патент РФ № 2608978, гос. рег. 2017 г.