

УДК 621.372.413.47.45.99 DOI 10.30894/issn2409-0239.2020.7.1.23.29

Микрополосковый делитель мощности с тремя входами и тремя выходами для бортовой аппаратуры космических аппаратов

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

Аннотация. Представлены устройство, конструкция и экспериментальные электрические параметры микрополоскового делителя мощности с тремя входами и тремя выходами (3×3), содержащее три направленных ответвителя (НО) Ланге, соединенных между собой тремя отрезками микрополосковой линии передачи. Приведены требуемые для достижения оптимальных параметров значения коэффициентов передачи каждого НО и длин отрезка микрополосковой линии передачи. При подаче СВЧ-сигнала на любой из входов делителя мощности 3×3 теоретическое значение коэффициента передачи на каждый из трех его выходов (без учета потерь в НО и в отрезках микрополосковой линии передачи) — не менее $-4,78$ дБ; при этом обеспечивается развязка между входом и двумя другими входами, а также между выходами не менее 20 дБ в 30-процентной полосе частот.

Ключевые слова: микрополосковый делитель мощности, направленный ответвитель Ланге, коэффициент передачи, развязка между входами и между выходами

Microstrip Power Divider with Three Inputs and Three Outputs for Spacecraft Onboard Equipment

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

Abstract. The paper presents a device, design, and experimental electric parameters of a microstrip power divider (3×3) with three inputs and three outputs consisting of three Lange directional couplers connected to each other by three sections of a microstrip transmission line. The article gives the required values of the transmission coefficients of each Lange directional coupler and lengths of a section of a microstrip transmission line to obtain optimum parameters. When sending a microwave signal to any of power divider (3×3) inputs, a theoretical value of the transmission coefficient to each of its three inputs (without including losses in the Lange directional coupler in the sections of a microstrip transmission line) is not less than -4.78 dB. At the same time decoupling between the input and two other inputs is provided, as well as between the outputs, which is not less than 20 dB in a 30% frequency band.

Keywords: microstrip power divider, Lange directional coupler, transmission coefficient, inputs and outputs decoupling

Введение

В бортовой аппаратуре космических аппаратов требуется соединять один из нескольких СВЧ-узлов или приборов с одним или несколькими другими СВЧ-узлами или приборами. Таким образом, обеспечивается, например, резервирование СВЧ-устройств. В качестве устройств перекрестного резервирования применяются делители мощности, чаще всего с двумя или тремя входами и выходами (2×2 , 3×2 или 3×3). Для бортовой аппаратуры основными требованиями к делителям мощности являются: максимально возможный коэффициент передачи, равномерность деления мощности между выходами, относительно большая полоса рабочих частот, развязка между входами и между выходами, компактность и удобство интеграции с другими СВЧ-узлами, для чего входы и выходы делителей мощности должны быть обращены к противоположным сторонам диэлектрической подложки. Для ряда применений делителей мощности существенно их малое групповое время запаздывания в рабочем диапазоне частот. Известные делители мощности размерностью 3×2 (2×3) и 3×3 [1, 2] не удовлетворяют по крайней мере одному из перечисленных требований.

Известны делители мощности с различным количеством входов и выходов. Делители мощности 2×2 реализуются на 3 дБ мостах различного типа и имеют теоретический (без учета потерь) коэффициент передачи -3 дБ [1, 2].

Делители мощности 2×3 (3×2) в большинстве строятся на основе каскадного включения 3-децибельного моста и делителя мощности 1×2 , подключаемого своим входом к одному из выходов моста [3, 4]. Недостаток такого делителя мощности — неравномерность деления: на одном из выходов коэффициент передачи составляет порядка -3 дБ, а на двух других выходах — не менее -6 дБ.

Если необходимо иметь у делителя мощности три входа и три выхода, то рациональным решением считается делитель мощности, изображенный на рис. 1 [5].

Делитель мощности содержит четыре моста Ланге, расположенных таким образом, что они в проекции образуют квадрат. Внутренние концы мостов Ланге соединены между собой, а внешние

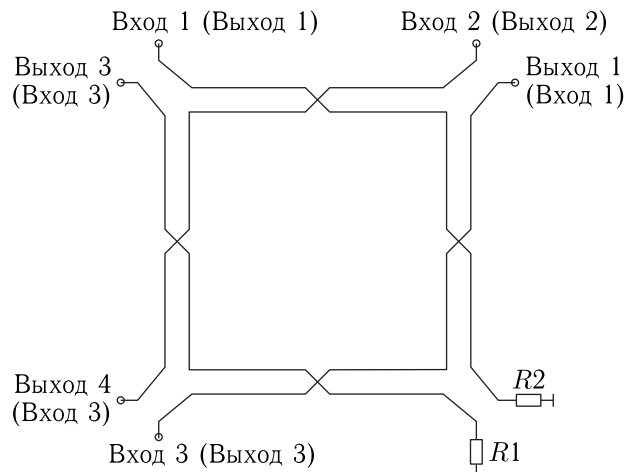


Рис. 1. Схема делителя мощности 4×4 (3×3) [4]

являются соответственно четырьмя входами и четырьмя выходами. Коэффициент передачи с любого входа на любой выход (без учета потерь в мостах Ланге) составляет -6 дБ. Если один из входов и один из выходов нагрузить на согласованную нагрузку в виде резистора (50 Ом), получаем делитель мощности 3×3 ; при том же коэффициенте передачи, нагружая один из других входов или выходов делителя, можно получить делители мощности 2×3 (3×2).

Недостаток такого делителя мощности — малый коэффициент передачи и то, что входы и выходы делителя мощности не могут быть расположены на противоположных сторонах диэлектрической подложки. Для того чтобы обеспечить требуемое расположение, необходимо ввести на диэлектрической подложке перекрестие входных и выходных отрезков микрополосковой линии, что, как правило, приводит к уменьшению коэффициента передачи.

Предлагается новый микрополосковый делитель мощности 3×3 (2×3) [5], удовлетворяющий перечисленным выше требованиям.

Устройство делителя мощности 3×3

Схема предложенного делителя мощности 3×3 представлена на рис. 2 [6].

Делитель мощности 3×3 выполнен на диэлектрической подложке 1, на которой расположены три микрополосковых НО Ланге (НО1, НО2, НО3)

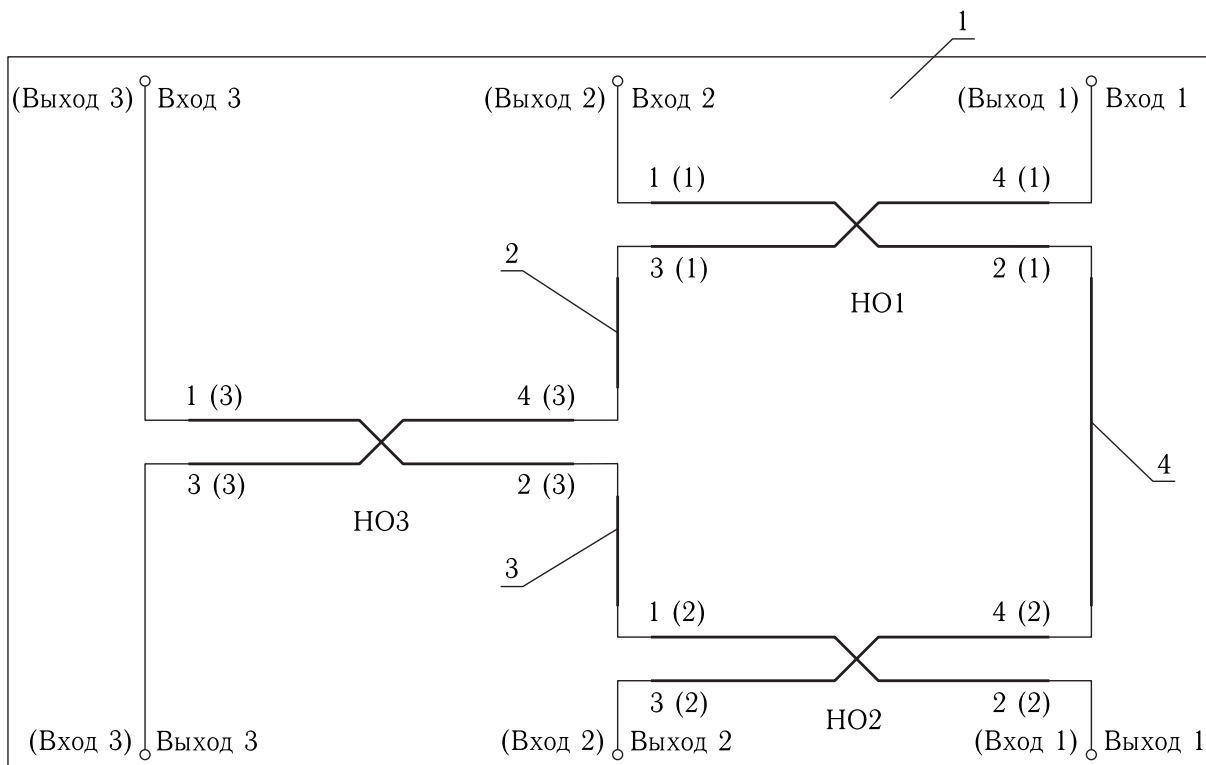


Рис. 2. Схема делителя мощности 3 × 3

на связанных линиях, однократно перекрещивающихся, и при этом НО1 и НО2 имеют переходное ослабление 3 дБ, а НО3 — 4,78 дБ. Каждый из двух концов связанных линий НО3, 4 (3) и 2 (3) соединен одним из двух одинаковых отрезков микрополосковой линии (МПЛ) 2 и 3 с одним из концов отрезков связанных линий НО1 и НО2 — 3 (1) и 1 (2); концы других отрезков связанных линий, расположенных с другой стороны НО1 и НО2 — 2 (1) и 4 (2), соединены между собой отрезком МПЛ 4, причем отрезки связанных линий НО1 и НО2 соединены с отрезками МПЛ 2, 3, 4 так, что их свободные концы 4 (1), 1 (1) и 2 (2), 3 (2) обращены к противоположным краям диэлектрической подложки. Таким образом, концы 4 (1), 1 (1) и 1 (3) являются входами (выходами), а концы 2 (2), 3 (2), 3 (3) — выходами (входами) делителя мощности 3 × 3. Входной сигнал подается на один из входов: Вход 1, или Вход 2, или Вход 3.

С учетом величин модуля и фазы при распространении входного сигнала с одного из входов на выходы обеспечиваются одинаковые коэффициенты передачи. Для этого длина отрезка МПЛ 4

должна быть больше суммарной длины отрезков МПЛ 2 и 3 на величину от 0,19 до 0,21 длины волны на средней частоте рабочего диапазона. Рассмотрены пути прохождения входного сигнала на выходы делителя мощности 3 × 3. Коэффициент передачи со Входа 2 или со Входа 3 на Выходы 1, 2, 3 имеет то же самое значение.

Коэффициент передачи на средней частоте диапазона с любого из входов на любой из выходов равен -4,78 дБ без учета потерь в делителе мощности 3 × 3.

Отрезки МПЛ 2 и 3 вводятся для того, чтобы оптимизировать развязки между входами делителя мощности. Их длина может быть выбрана в пределах от 0,125 до 0,25 длины волны на средней частоте рабочего диапазона. Приведенные параметры делителя мощности 3 × 3 получены в результате моделирования в программе AWR Design Environment.

Подключение согласованной нагрузки (50 Ом) к одному из входов (выходов) делителя мощности 3 × 3 превращает его в делитель мощности 2 × 3 (3 × 2).

Конструкция и результаты экспериментальных исследований делителя мощности 3×3

Макет делителя мощности 3×3 , предназначенный для работы в S -диапазоне частот, выполнен на подложке из поликора толщиной 1 мм. Топология макета делителя мощности 3×3 представлена на рис. 3.

Габариты подложки делителя мощности 3×3 не превышают 24×30 мм. Делитель мощности 3×3 может быть выполнен как в виде отдельного прибора, так и в виде функционального узла, интегрированного в один из приборов бортовой аппаратуры, например в резервированный троированный усилитель мощности в качестве узла перекрестного резервирования.

На рис. 4–8 приведены основные экспериментальные характеристики делителя мощности 3×3

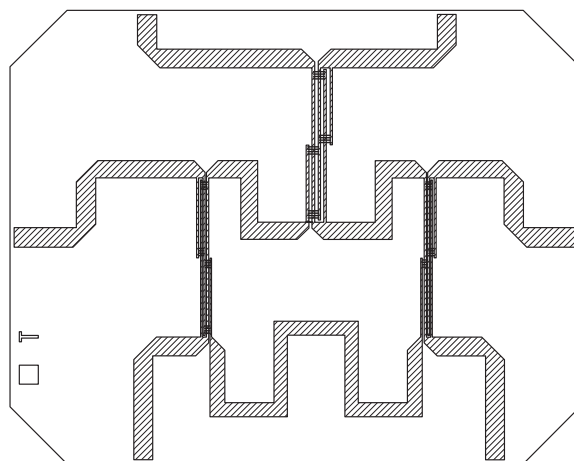


Рис. 3. Топология макета делителя мощности 3×3

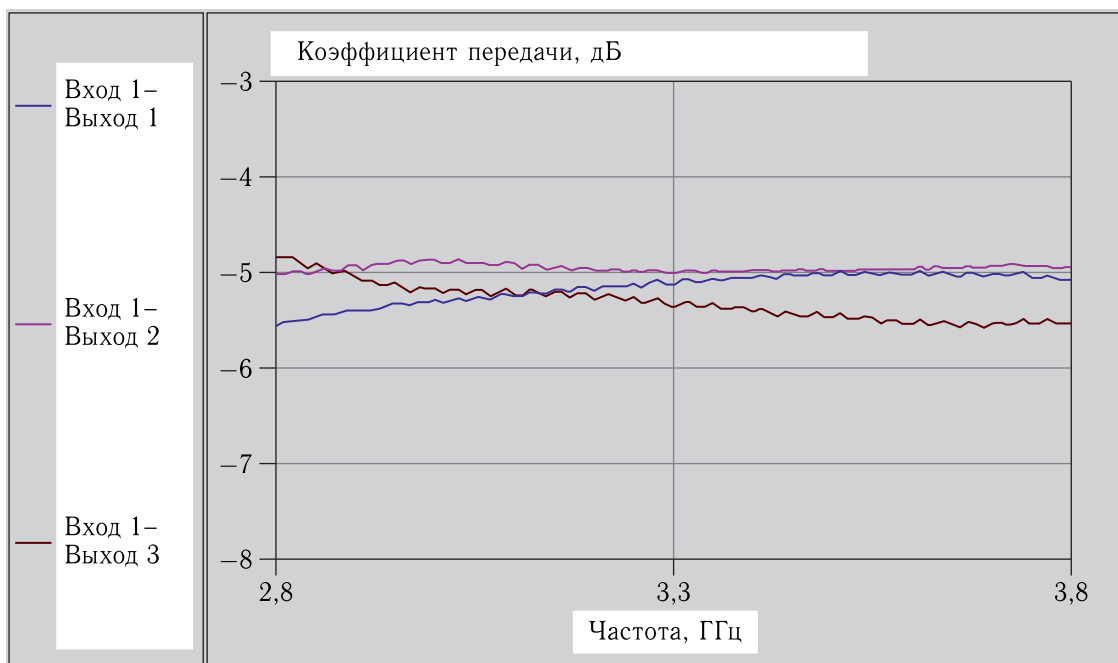


Рис. 4. Зависимость коэффициента передачи делителя мощности 3×3 со Входа 1 на Выходы 1, 2, 3 от частоты

C-диапазона частот, полученные в нормальных условиях: зависимости коэффициента передачи с одного из входов на каждый из трех выходов, развязки между входами, коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) входов и выходов и группового времени запаздывания от частоты. Как видно из рис. 4, вносимые потери делителя мощности 3×3 находятся в диапазоне от 4,9 до 5,5 дБ. Развязка между входами (рис. 5) находится в диапазоне от 19 до 32 дБ.

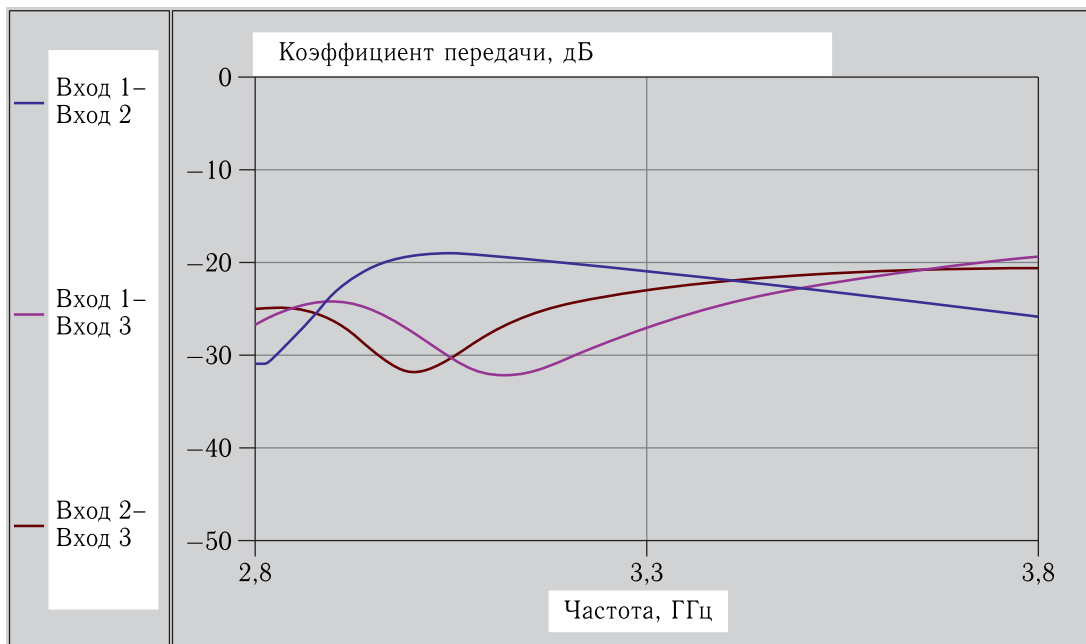


Рис. 5. Зависимость коэффициента передачи делителя мощности 3×3 со Входа 1 на Входы 2 и 3 и со Входа 2 на Вход 3 от частоты

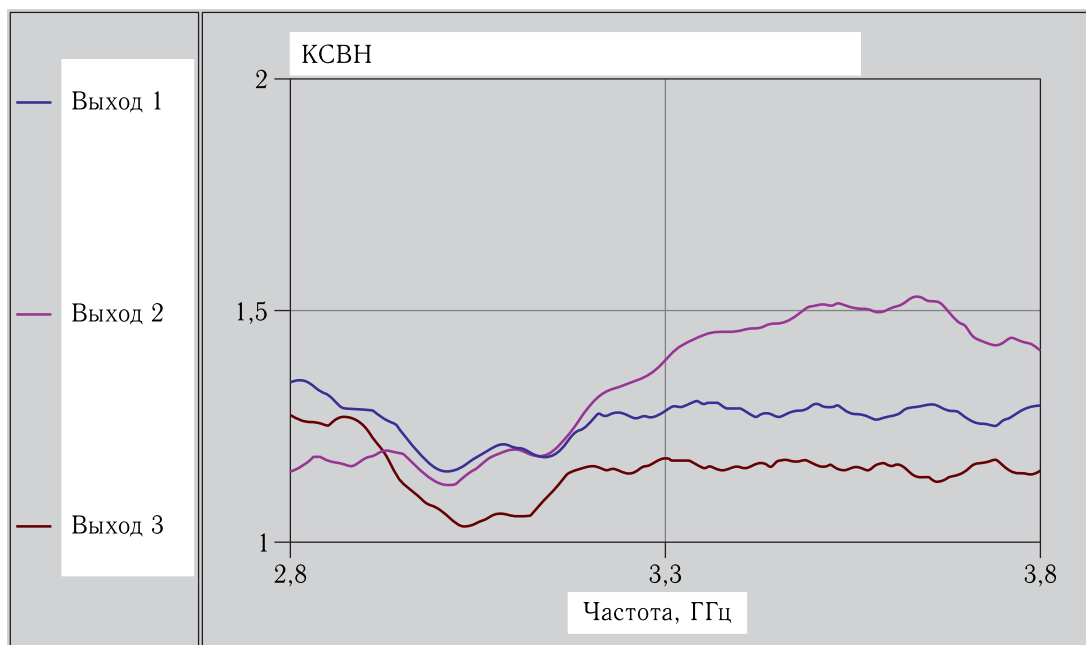


Рис. 6. Зависимость КСВН Входов 1, 2 и 3 делителя мощности 3×3 от частоты

КСВН входов и выходов (рис. 6 и 7) не превышает 1,5 дБ.

Групповое время запаздывания находится в диапазоне от 0,5 до 0,58 нс в полосе частот от 2,8 до 3,8 Гц (рис. 8).

Заключение

Представленный микрополосковый делитель мощности 3×3 имеет коэффициент передачи на 1,2 дБ выше, чем у ближайшего аналога [4].

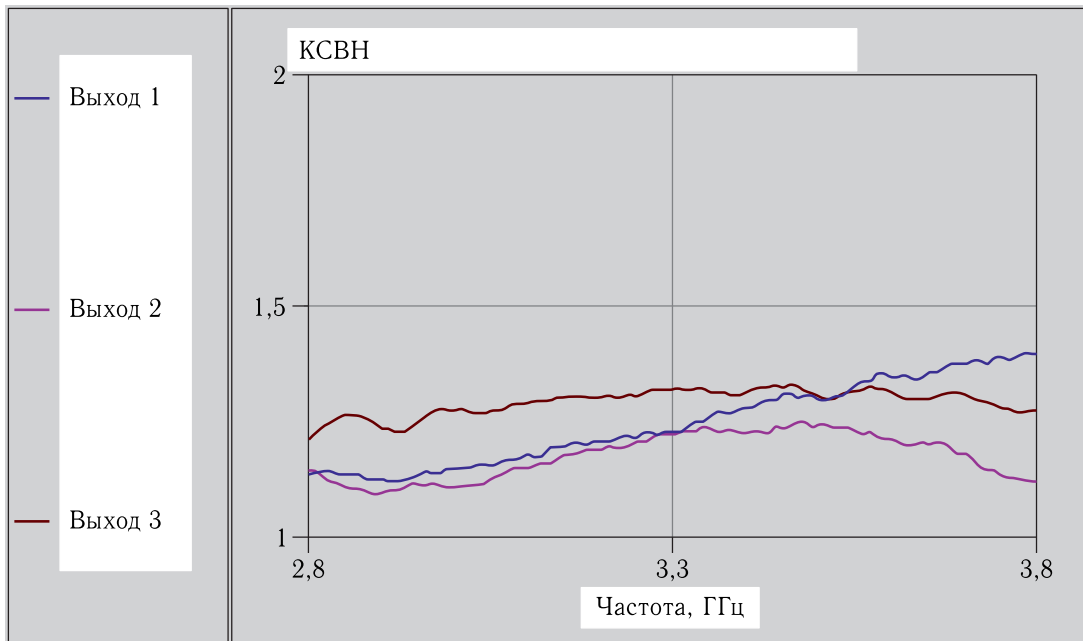


Рис. 7. Зависимость КСВН Выходов 1, 2 и 3 делителя мощности 3×3 от частоты

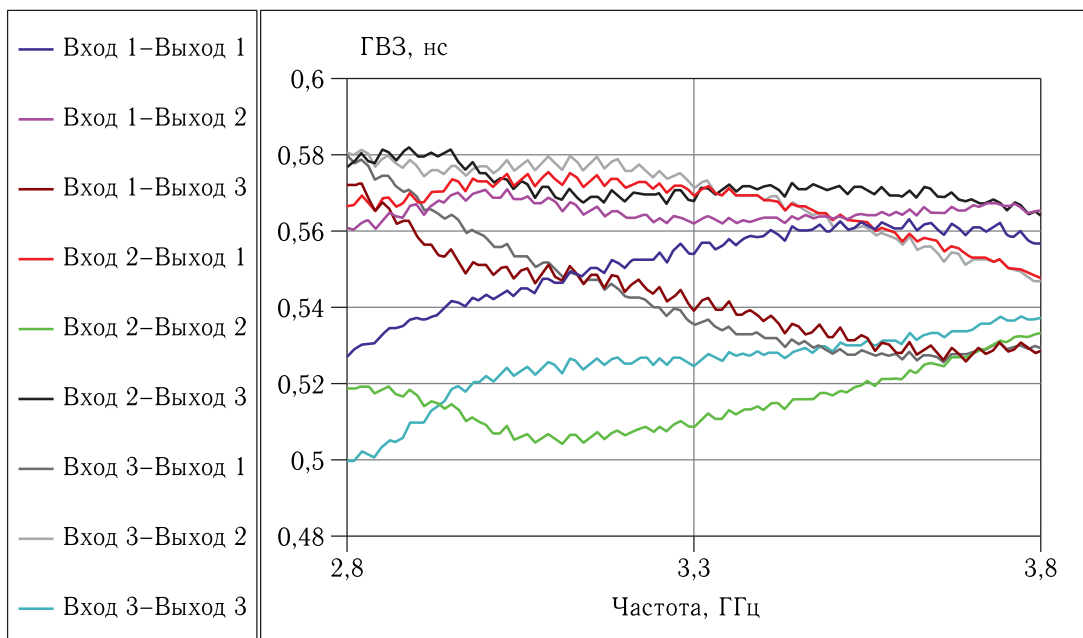


Рис. 8. Зависимость группового времени запаздывания делителя мощности 3×3 с каждого из входов на каждый из выходов от частоты

Делитель мощности является компактным устройством перекрестного резервирования с удобным расположением входов и выходов на противоположных сторонах делителя мощности 3×3 . Он найдет применение в бортовой аппаратуре командно-измерительной системы космического аппарата, будучи установленным между выходами приемопередающего устройств и входами усилителей мощности.

Список литературы

1. Сазонов Д.М., Гридин А.Н., Мишустин Б.А. Устройства СВЧ / Под ред. проф. Д.М. Сазонова. Москва: Высшая школа, 1981. 259 с.
2. Chen A.C., Pham A. and Leont R.E. A 6–18 GHz Push-Pull Power Amplifier with Wideband Even-Order Direction Cancellation in LCP Module. IEEE MTI-S Int. Microwave Symp. Digest 2007, June 3–8, 2007. P. 1079–1082.
3. Lange J. Interdigitated Stripline Quadrature Hybrid // IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, 1969, vol. 17, no. 12. P. 1150–1151.
4. Antsos D.R., Crist R. and Sukamto L. A Novel Wilkinson Power Divider with Predictable Performance at K and Ka-Band // IEEE MTT-SDigest, 1994. P. 907–910.
5. Алыбин В.Г., Зарапин С.А., Яхутин С.А., Авраменко С.В. Патент №2608978 Российской Федерации. Делитель мощности для бортовой аппаратуры космического аппарата: №2015139377: заявл. 17.09.2015: 30.01.2017.
6. Алыбин В.Г., Зарапин С.А., Яхутин С.А. Патент №2693877 Российской Федерации. Делитель мощности 3×3 для бортовой аппаратуры космических аппаратов: №2018141772: заявл. 27.11.2018: опубл. 05.06.2019.