

09, сентябрь 2015

УДК 621.372.865

**Экспериментальное исследование схемы суммирования мощности
неидентичных каналов усиления на основе двойного волноводного
тройника *Ka*-диапазона**

*Водолазов Р. В., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»*

*Научный руководитель: Овечкин В. С., ассистент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»
main@rl1-11.bmstu.ru*

СВЧ и КВЧ диапазоны получили широкое распространение благодаря своим преимуществам, к которым относится высокая скорость и объемы передаваемой информации. При всех очевидных преимуществах возникает трудность получения высокого уровня мощности. В качестве усилительных элементов обычно используют усилители на электровакуумных приборах (ЭВП) или на твердотельных элементах. Очевидным недостатком ЭВП является чрезмерные массогабаритные характеристики и потребность в высоковольтных системах питания и управления, которые, в свою очередь, соизмеримы или превышают по габаритам и массе ЭВП, что накладывает ограничения на их применение в высокомобильных и портативных системах. Усилители на твердотельных элементах обладают малыми габаритами и массой, простотой питания и управления, но, в силу конструктивных особенностей, в СВЧ и КВЧ диапазонах не могут обеспечить высокий уровень выходной мощности. Так в *Ka*-диапазоне достигнутый уровень мощности не превышает 5 Вт. Избежать недостатков ЭВП, и воспользоваться преимуществами твердотельных элементов становится возможным при применении различных схем суммирования от нескольких твердотельных усилителей, позволяющих получить требуемый уровень мощности при относительной простоте системы.

Выделяют несколько основных способов суммирования мощностей: использование многополюсных схем-сумматоров, пространственное сложение с помощью ФАР,

сложение в общем резонаторе [1]. В данной работе рассматривается многополюсная схема суммирования на основе двойного волноводного тройника Ka -диапазона.

Двойной волноводный тройник, условное изображение которого показано на рисунке 1, содержит двойное T -образное разветвление четырех отрезков прямоугольного волновода, образующих два выходных соосных плеча (E -плечо и H -плечо), и согласующий элемент (в исследуемом устройстве – конус, размещенный на основании общей широкой стенки соосных плеч) [2].

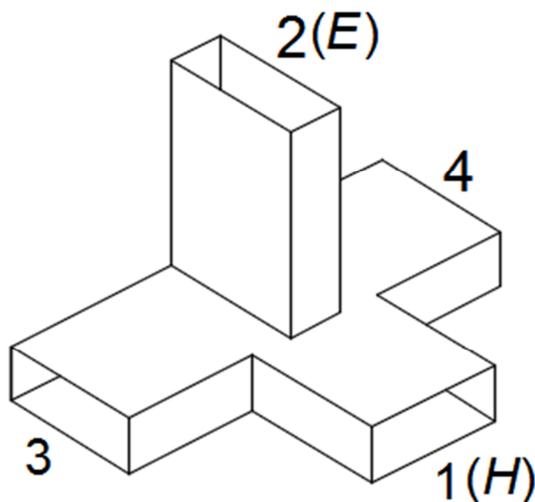


Рис. 1. Условное изображение двойного волноводного тройника

Синфазное деление мощности между плечами 3 и 4 осуществляется при возбуждении H -плеча, при этом развязанным оказывается E -плечо. Развязка E -плеча и H -плеча достигается за счет симметрии устройства, а парциальных - уровнем согласования E -плеча и H -плеча. Из принципа взаимности следует, что две равноамплитудные синфазные волны парциальных плеч сложатся и пройдут в H -плечо, две одинаковые противофазные волны пройдут в E -плечо; в этих случаях E - и H -плечи остаются развязанными [3].

На практике при применении многоканальных схем с последующим суммированием мощности возможен отказ одного или более каналов, что приведет в лучшем случае к изменению режима работы, в худшем – к выходу из строя всей системы в целом. Помимо прочего, схема с использованием двойных волноводных тройников в качестве суммирующих элементов предъявляет повышенные требования к идентичности электрических характеристик отдельных каналов. Допуская возможность нештатной ситуации и зная особенности сложения сигналов в устройстве суммирования, можно еще

на этапе разработки построить схему так, чтобы минимизировать последствия и сохранить работоспособность всей системы в допустимых пределах.

Для определения влияния разности фаз сигналов парциальных каналов на эффективность схемы суммирования был собран измерительный стенд, структурная схема которого представлена на рисунке 2. В одном канале установлен фазовращатель, посредством которого задается разность фаз, в другом – перестраиваемый плавный аттенуатор, выравнивающий коэффициенты передачи парциальных плеч. В схеме используются два двойных волноводных тройника, имеющих следующие характеристики на центральной рабочей частоте:

1. КСВн парциальных каналов – 1,09 и 1,04, суммарного канала – 1,10, разностного – 1,09.
2. Коэффициент передачи из суммарного в парциальные каналы – 3,13 дБ и 3,23 дБ.
3. Развязка между суммарным и разностным каналами – 42,35 дБ.

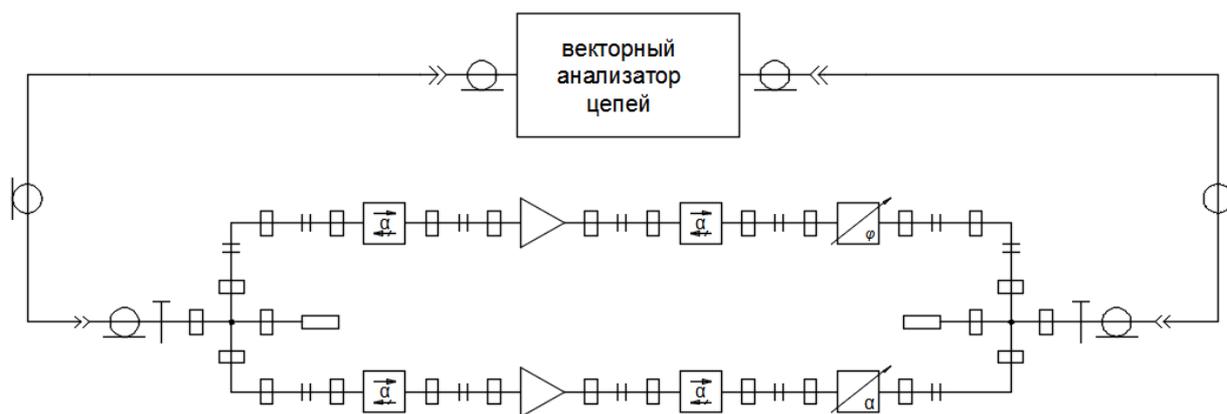


Рис. 2. Структурная схема стенда для измерения зависимости коэффициента передачи схемы суммирования при расфазировке парциальных каналов

Полученный график зависимости нормированного коэффициента передачи от разности фаз парциальных каналов представлен на рисунке 3.

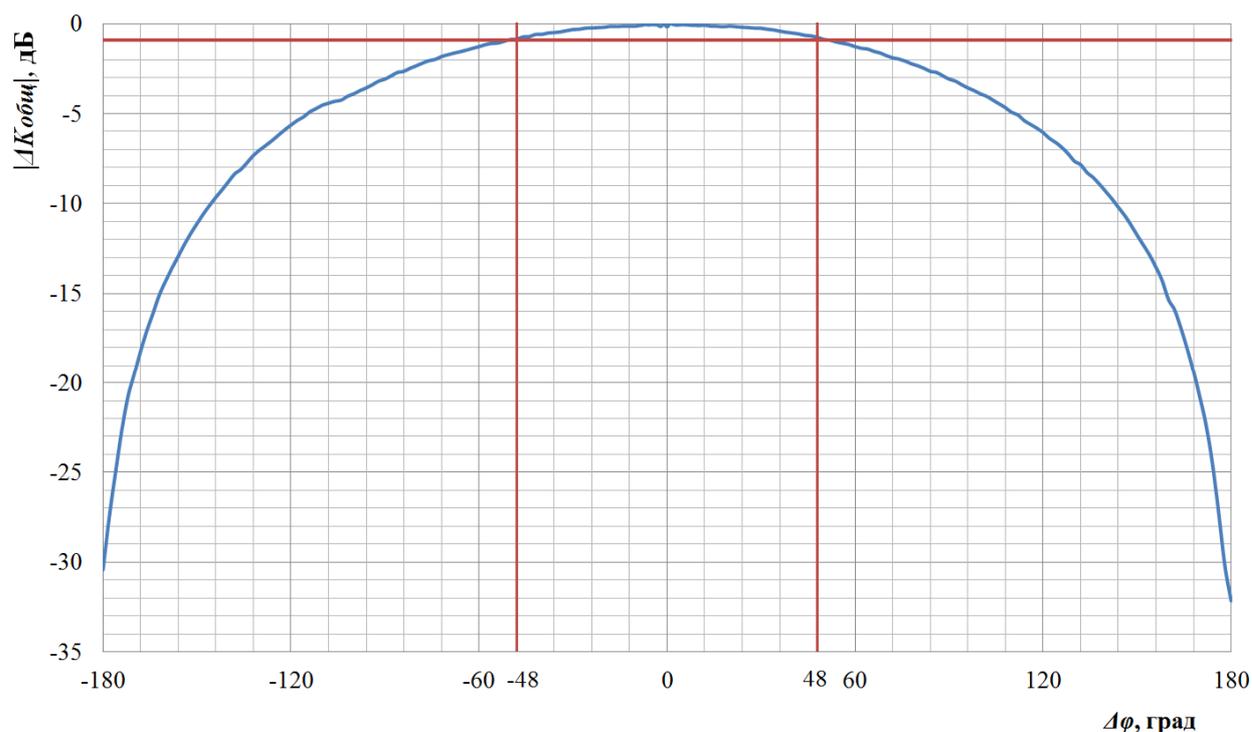


Рис. 3. График зависимости коэффициента передачи схемы суммирования от разности фаз парциальных каналов

Из графика видно, что в случае синфазного сложения сигналов ($\Delta\varphi = 0$ градусов) имеет место максимум коэффициента передачи, а в случае противофазного ($\Delta\varphi = \pm 180$ градусов) - минимум. Если принять за допустимое отклонение уменьшение коэффициента передачи суммирующей схемы на 1 дБ, то разность фаз парциальных каналов $\Delta\varphi$ может достигать 48 градусов.

Другим часто встречающимся на практике случаем, влияющим на эффективность суммирования, является разность уровня мощности парциальных каналов, возникающая из-за изменения режимов работы усилительных элементов или выхода их из строя. Структурная схема измерительного стенда, позволяющего исследовать это явление, приведена на рисунке 4.

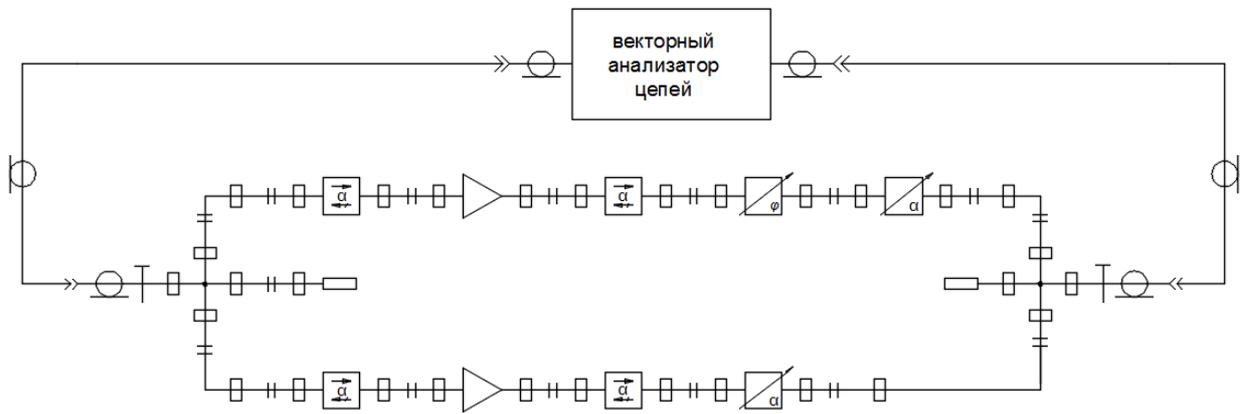


Рис. 4. Структурная схема стенда для измерения зависимости коэффициента передачи схемы суммирования при неравенстве амплитуд коэффициентов передаче парциальных каналов

Для изменения коэффициента передачи сигнала в одном плече в схему введен плавный аттенуатор. Для полноты исследования были рассмотрены случаи суммирования неравноамплитудных и несинфазных сигналов. Результатом эксперимента стало семейство графиков, отображающих зависимость коэффициента передачи схемы суммирования от разности коэффициентов передачи парциальных каналов для нескольких значений разности фаз. Полученные графики представлены на рисунке 5.

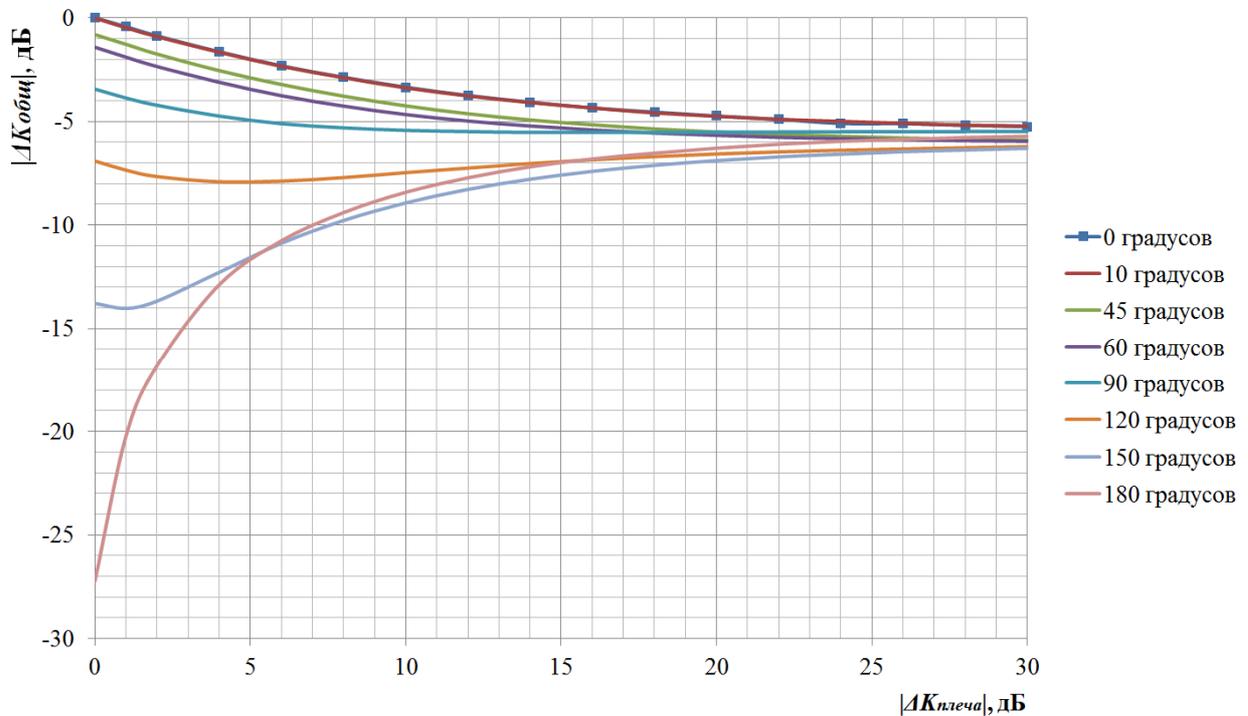


Рис. 5. Зависимость суммарного коэффициента передачи от разности амплитуды сигналов парциальных каналов

Необходимо отметить, что при увеличении разности коэффициентов передачи парциальных каналов уменьшается зависимость суммарного коэффициента передачи от разности фаз. При увеличении разности суммарное значение стремится к своему предельному уровню $\frac{|A+B|}{\sqrt{2}}$, где A и B – уровень сигналов парциальных каналов.

Для повышения наглядности полученных результатов был построен трехмерный график, представленный на рисунке 6, позволяющий определить эффективность схемы суммирования, а также ослабить требования к равенству комплексного коэффициента передачи парциальных каналов при некотором допуске на падение выходной мощности, что, в свою очередь, позволит упростить и удешевить конструкцию.

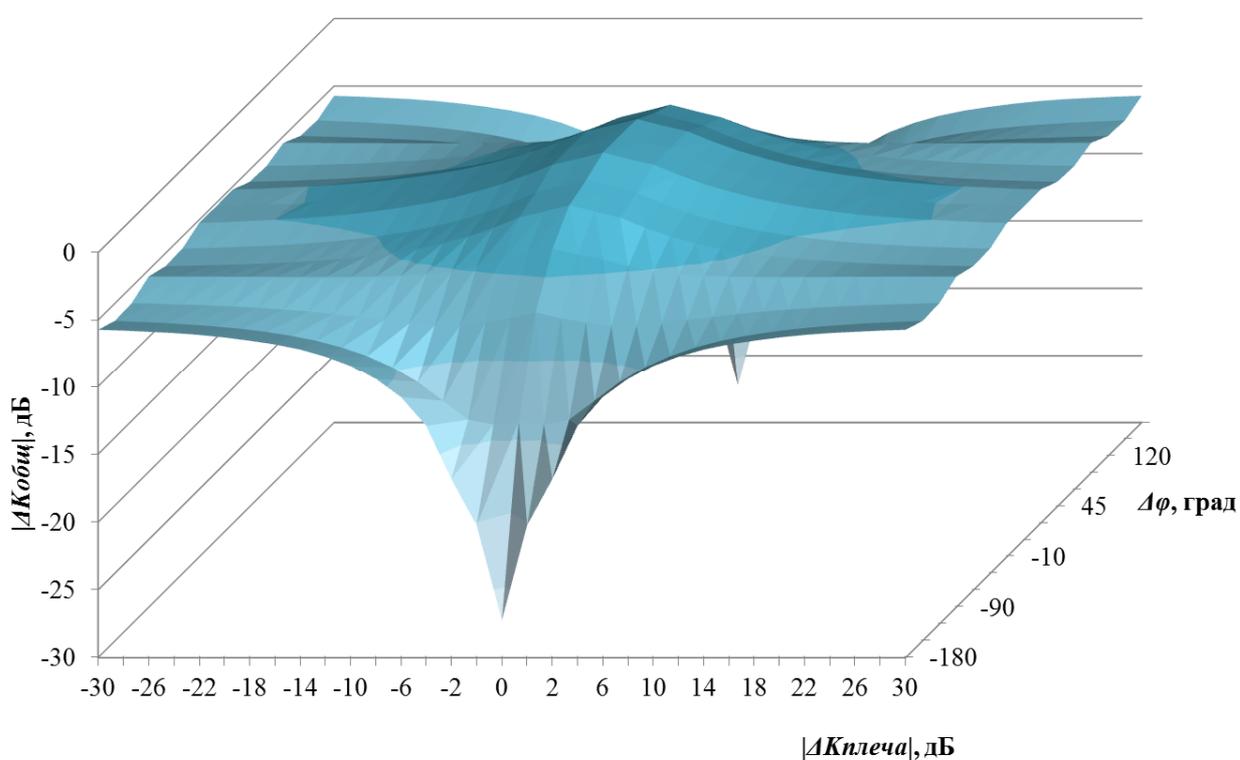


Рис. 6. График зависимости коэффициента передачи от разности фаз и амплитуд парциальных каналов

Ограничим область допустимых отклонений схемы суммирования уровнем минус 1 дБ. При этом дифференциальный фазовый сдвиг составляет 48 градусов. При нулевом дифференциальном фазовом сдвиге разность амплитуд в плечах схемы суммирования составляет 2 дБ, чтобы суммарное падение коэффициента передачи составило менее 1 дБ.

Таким образом, данная работа позволила дать качественную и количественную оценку фазовым и амплитудным отклонениям парциальных каналов схемы суммирования

на основе двойного волноводного тройника. Выделена область значений возможных отклонений характеристик парциальных каналов, изменение которых не окажет существенного влияния на коэффициент передачи схемы суммирования.

Продолжением данной работы станет экспериментальное исследование суммирования сложных сигналов во временной и частотных областях и сложение шумов.

Список литературы

1. Суммирование мощностей сигналов СВЧ генераторов. Режим доступа: <http://5fan.ru/wievjob.php?id=20359> (дата обращения 28.05.2015)
2. Фельдштейн А. Л., Явич Л. Р., Смирнов В. П. Справочник по элементам волноводной техники. М.: Советское радио, 1967. 651 с.
3. Устройства СВЧ и антенны. В 2 ч. Ч. 1. Проектирование, конструктивная реализация, примеры применения устройств СВЧ / ред. В. А. Неганов, Д. С. Клюев, Д. П. Табаков. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. 608 с.
4. Тюкаев Р. Р. Трехканальный волноводный разветвитель мощности Ka-диапазона // Общеуниверситетская научно-техническая конференция «Студенческая весна - 2011», посвященная 50-летию полета Ю. А. Гагарина в космос: тез. докл. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 328 с.