

Квадратурный делитель поверхностного монтажа

Квадратурные делители предназначены для применения в современных и перспективных системах дальней радиосвязи с длиной волны от сотни метров до десятков сантиметров; позволяют получить высокоточное разделение сигналов в компактном корпусе поверхностного монтажа, сохраняя высокие технические характеристики. Данные устройства используются для разделения и объединения мощности в цепях со сдвигом фазы на 90° между двумя выходными портами, обеспечивающим желаемые рабочие характеристики.

Квадратурные делители применяются:

- в цепях возбуждения антенн. Позволяют уменьшить габариты устройства, одновременно выполняя две функции: разделение/суммирование сигнала и добавление необходимого фазового сдвига;
- в смесителях с подавлением зеркальной частоты, математически подавляя сумму или разность сигналов на выходе;
- в сумматорах для усилителей мощности. Сложение модулей усилителей мощности в квадратуре подавляет третью гармонику на выходе, а также некоторые нечетные продукты интермодуляции [1].

В научной литературе описаны различные схемы квадратурных делителей. В статье выбрана схема, представленная на рис. 1.

Схема содержит три одинаковые секции, каждая из которых представляет собой фильтр, настроенный на свою частоту, что позволяет расширить частотный диапазон работы схемы. Совместную работу секций I, III и IV как квадратурного делителя обеспечивает наличие секции II — трансформатора, добавляющего набег фазы 180° [2]. Меняя номиналы емкостей и индуктивностей в каждой из секций I, III и IV, возможно перестраивать частоту работы и коэффициент отражения квадратурного делителя.

В качестве связанных индуктивностей использовались два провода, намотанные на ферритовый сердечник, — связанные катушки. Подбор магнитной проницаемости и габаритов ферритового сердечника позволяет менять индуктивность катушек в каждой из секций и получать достаточно компактные решения схем квадратурных делителей. Для секций I, III и IV были выбраны тороидальные сердечники в связи с удобством наматывания на них проводов и большой вариации габаритов. Для сек-

ции II использовались двухотверстные сердечники (балуны).

Теоретическое моделирование

Для изучения влияния параметров схемы на работу квадратурного делителя было проведено теоретическое моделирование. В качестве связанных индуктивностей выбраны катушки на ферритовом сердечнике с заданным коэффициентом связи K , отражающим количество передаваемой мощности от одной катушки к другой.

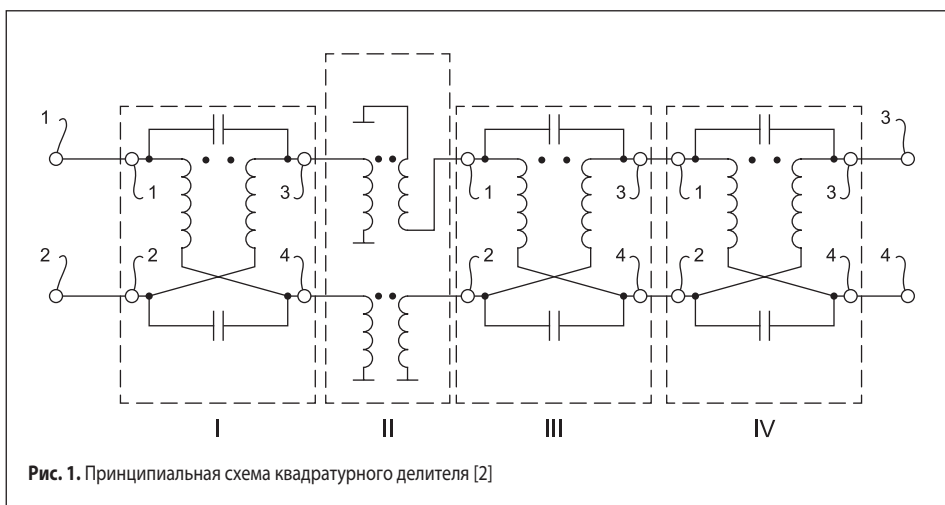


Рис. 1. Принципиальная схема квадратурного делителя [2]

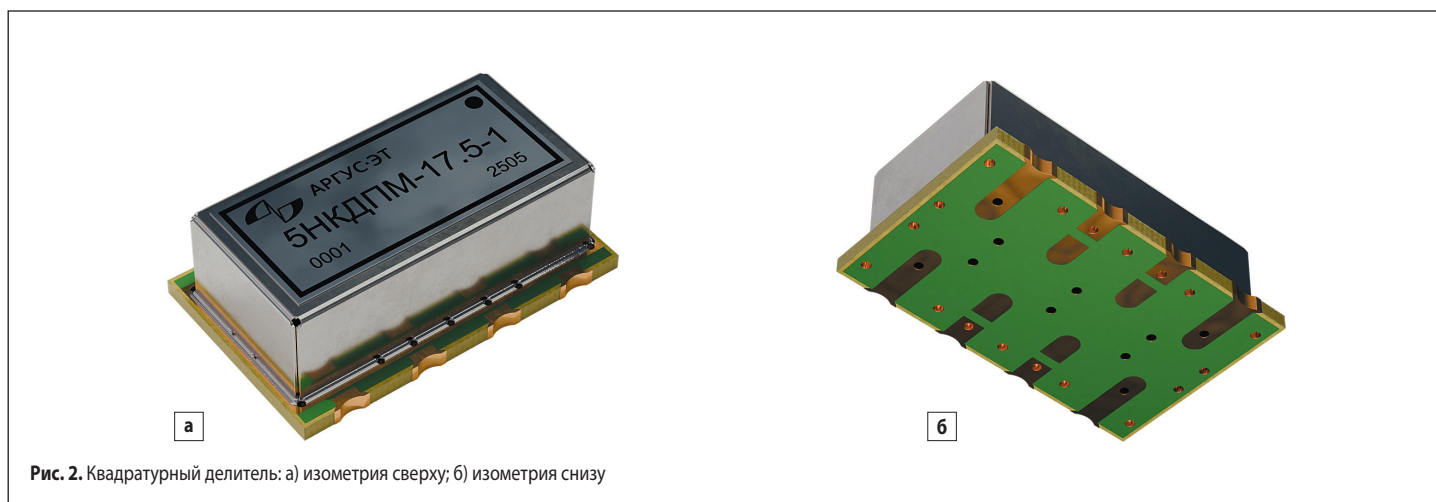


Рис. 2. Квадратурный делитель: а) изометрия сверху; б) изометрия снизу

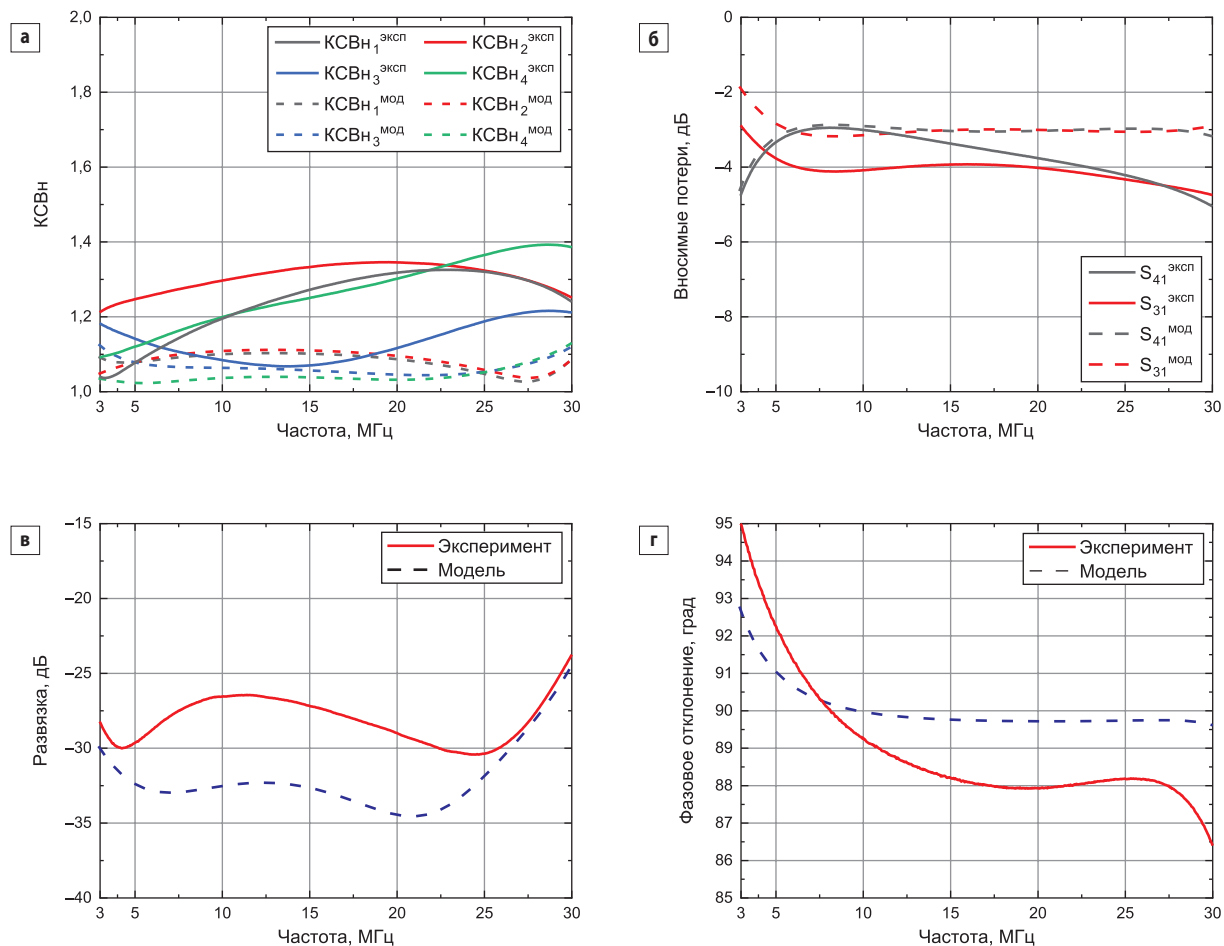


Рис. 3. Экспериментальные и теоретические частотные характеристики квадратурного делителя

Номиналы индуктивностей L и емкостей C рассчитывались согласно формулам, представленным ниже [2]:

$$L = Z_0 / (2\pi f_0), \quad C = 1 / (2\pi f_0 Z_0),$$

где Z_0 — волновое сопротивление источника; f_0 — частота резонанса. Для демонстрации работы схемы, показанной на рис. 1, был выбран диапазон 3–30 МГц. Графики частотных зависимостей модели квадратурного делителя даны на рис. 3 пунктирными линиями.

Теоретическая модель демонстрирует характеристики в широком диапазоне частот, соответствующие требованиям работы схемы квадратурного делителя. Схема делителя вносит минимальные отражения, ответвляет половину мощности в каждое из выходных плеч практически на всем диапазоне работы.

Экспериментальный макет и его измерение

Для подтверждения истинности теоретической модели был собран макетный образец квадратурного делителя с габаритными размерами 21,34×13,21×7,3 мм. На рис. 2 показана его 3D-модель в двух проекциях.

Квадратурный делитель собран на плате из стеклотекстолита. На оборотной стороне платы вырезаны площадки, предназначенные для поверхностного монтажа. Для защиты

Таблица. Характеристики модулей

Название прибора	Частотный диапазон, МГц	Вносимые потери, дБ	Амплитудное отклонение, дБ	Фазовое отклонение, °	Развязка, дБ	Максимальная входная мощность, Вт	КСВн
5НКДПМ-17.5-1	3–30	2	3	5	23	1	1,4
5НКДПМ-27.5-1	5–50	2	3	5	23	1	1,4
4НКДПМ-55-1	10–100	2	4	5	23	1	1,4
4НКДПМ-110-1	20–200	2,5	4,5	6	20	1	1,4
4НКДПМ-300-1	100–500	2,5	4,5	7	19	1	1,5

схемы от механических воздействий добавлена металлическая крышка, которая также служит экраном от внешних полей.

На следующем этапе были проведены измерения макетного образца квадратурного делителя на векторном анализаторе цепей. Результаты экспериментальных измерений совместно с теоретическими зависимостями, подтверждающие качественное повторение теоретических частотных характеристик, представлены на рис. 3. Расхождение в зависимостях обуславливается погрешностью магнитных свойств и геометрических размеров ферритовых сердечников, погрешностью электрических свойств конденсаторов, а также погрешностью диэлектрических свойств стеклотекстолита.

На основе предложенной модели разработана линейка модулей в одном корпусном исполнении, охватывающая диапазон 3–500 МГц. Характеристики данных модулей представлены в таблице.

Заключение

В статье рассмотрена схема квадратурного делителя, отличающаяся компактностью исполнения и шириной частотного диапазона. Представлена методика расчета компонентов схемы квадратурного делителя, позволяющая получить необходимые характеристики в заданном рабочем диапазоне. Описан разработанный макетный образец, характеристики которого близки к теоретическим расчетам. Предложена линейка квадратурных делителей, охватывающих диапазон 3–500 МГц и позволяющих закрыть существующие пробелы в линейке отечественных электронных компонентов в указанном частотном диапазоне.

Литература

1. Breed G. Transmission line and lumped element quadrature couplers // High Frequency Electronics. 2009. November.
2. Cappucci J.D. U.S. Patent No. 3,514,722. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. 1970.