

Разработка и исследование усилителей мощности СВЧ радиомодемов стандарта IEEE802.11

Иван Малыгин,
К. Т. Н.

ivm@institute-rt.ru

Беспроводные сети, предназначенные для организации локальных вычислительных сетей и организации доступа к глобальной информационной сети Интернет, получили в последние годы широкое распространение. В местах со слаборазвитой информационной структурой они используются как единственно возможные средства связи, в крупных населенных пунктах — для высокоскоростного обмена данными. Не будет преувеличением сказать, что для построения таких сетей в основном используется радиооборудование стандарта IEEE802.11 различных фирм-производителей [1]. Одно из значимых применений такого радиооборудования — организация мобильного доступа к перечисленным сетям. В этом случае требования, предъявляемые к точкам радиодоступа IEEE802.11 более жесткие, а именно: минимальные габариты и энергопотребление, обусловленные их подключением непосредственно к переносному компьютеру или терминалу. Радиоустройства, спроектированные в соответствии с этими требованиями, размещены в конструктиве PC Card, снабженном переходным разъемом типа PCMCIA для подключения к переносному компьютеру [2].

Усилители мощности СВЧ, представленные в этой статье, предназначены для усиления небольшой выходной мощности (30 мВт) передатчика беспроводного устройства IEEE802.11, при этом принимаемый сигнал достигает входа приемника с минимальными потерями.

В качестве активного элемента усилителя был выбран полевой транзистор на основе арсенида галлия, поскольку биполярные транзисторы в требуемом СВЧ диапазоне обладают худшими параметрами. Предварительный расчет был проведен с использованием пакета программ Serenade Design Environment Version 8.0. фирмы Ansoft Corporation по реальной модели транзистора CLY2 фирмы Infineon, основные электрические параметры которого имеются в библиотеке моделей.

Основные требования к проектируемому усилителю состоят в следующем: диапазон рабочих частот 2400–2500 МГц; коэффициент усиления не менее 10 дБ; используемый материал — стеклотекстолит ($\epsilon = 5,5$, $h = 1,5$ мм).

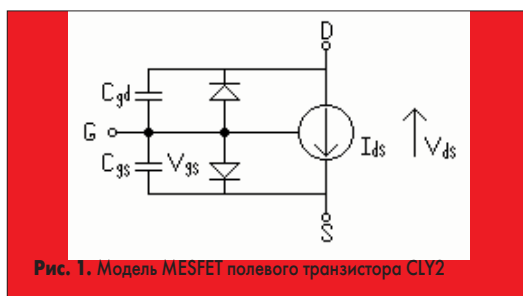


Рис. 1. Модель MESFET полевого транзистора CLY2

В используемом пакете программ транзистор представлен как четырехполюсник, заданный матрицей рассеяния S для каждого предусмотренного значения питающего напряжения и потребляемого тока. Модель полевого транзистора, использованная при расчете, приведена на рис. 1 (модель MESFET).

Задача проектирования состоит в расчете согласующих элементов схемы, трансформирующих входное и выходное сопротивления транзистора к величине 50 Ом. Принципиальная схема рассчитываемого усилителя (без цепей питания и смещения) показана на рис. 2.

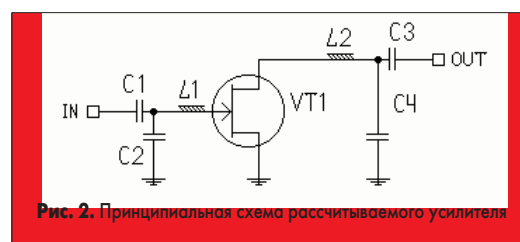


Рис. 2. Принципиальная схема рассчитываемого усилителя

Микрополосковые линии $L1$, $L2$ заданы шириной $W1$, $W2$ и длиной $P1$, $P2$, соответственно. В результате проведенного программного моделирования были получены следующие значения вычисляемых параметров: $W1 = 0,5$ мм, $W2 = 0,5$ мм, $P1 = 3,5$ мм, $P2 = 5$ мм, $C1 = 1$ пФ, $C2 = 1,2$ пФ, $C3 = 1,5$ пФ, $C4 = 220$ пФ. Рассчитанные зависимости S -параметров изображенной на рис. 2 схемы от частоты показаны на рис. 3.

Коэффициент усиления по мощности, полученный экспериментально при исследовании физической модели усилителя, составил 10 дБ, что значительно меньше расчетного (13 дБ) при той же ширине полосы рабочих частот. Это можно объяснить отсутствием точного значения диэлектрической проницаемости использованного стеклотекстолита, неидеальностью значений входных и выходных сопротивлений измеряемой аппаратуры.

Для развязки выхода усилителя мощности и входа беспроводного устройства IEEE802.11 целесообразно использовать кольцевой делитель мощности, схема которого показана на рис. 4. Расчет кольцевого делителя мощности был проведен с использованием пакета программ Mathcad 8.0 по методике, изложенной в литературе [3].

По формуле (1) находим волновое сопротивление дугообразных полосков — плеч делителя. При входном сопротивлении 50 Ом сопротивление каждого плеча равно 70,7 Ом.

$$Z_1 = Z \sqrt{2} \quad (1)$$

Значение балластного сопротивления $R_0 = 100$ Ом находится по формуле

$$R_0 = 2 \times Z \quad (2)$$

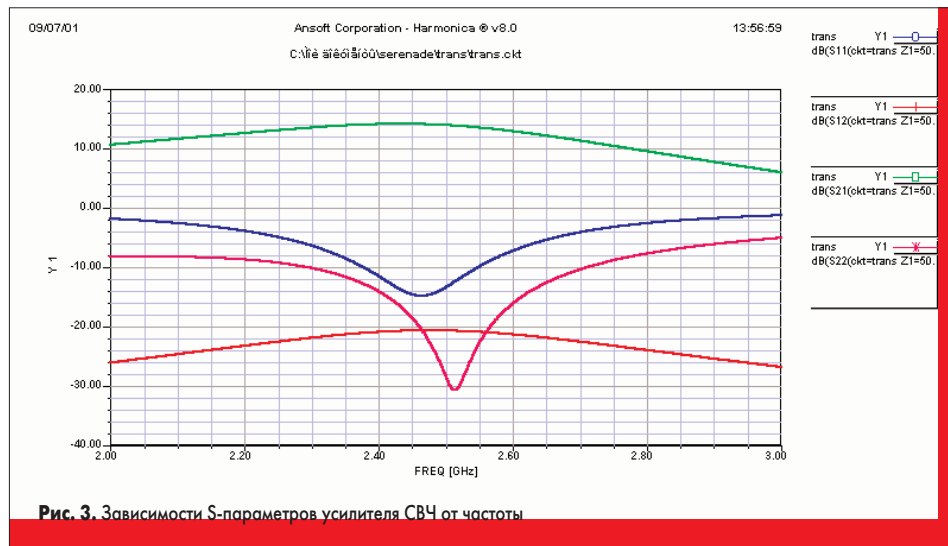


Рис. 3. Зависимости S-параметров усилителя СВЧ от частоты



Рис. 4. Схема кольцевого делителя мощности

По формуле (3) определим ширину микрополоска, исходя из значения его волнового сопротивления: $w = 2,35$ мм для $Z = 50$ Ом и $w_1 = 1,2$ мм для $Z = 70,7$ Ом.

$$Z_{\theta} = \frac{377 \times h}{\sqrt{\epsilon \times w \times (1 + 1.735 \times e^{-0.0724 \times (\frac{w}{h})^{-0.836}})}} \quad (3)$$

Для нахождения радиуса дугообразных плеч делителя определим длину волны в микрополосках полученной ширины для заданных выше условий. Для этого по формуле

$$\epsilon_{эф} = \frac{\epsilon + 1}{2} + \frac{\epsilon - 1}{2} \times \frac{1}{\sqrt{1 + 10 \frac{h}{w}}} \quad (4)$$

найдем $\epsilon_{эф} = 3,866$, а по формуле

$$\lambda_{\theta} = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{эф}}} \quad (5)$$

необходимую для дальнейших расчетов длину волны $\lambda_{\theta} = 62,25$ мм.

Радиус окружности находится по формуле

$$R = \frac{\lambda_{\theta} + x}{2 \times \pi}$$

полученной из формулы длины окружности, первое слагаемое в числителе — сумма длин плеч делителя, а второе x — ширина разрыва между плечами для размещения балластного резистора. Из конструктивных соображений x было взято равным 2 мм, при этом $R = 5,272$ мм.

Изготовленный по приведенным расчетам кольцевой делитель мощности имеет в заданной полосе пропускания потери 3,8 дБ. В сочетании с рассчитанным предварительно усилителем мощности СВЧ, он представляет собой функциональное законченное решение для ШСС малой мощности, функционирую-

щих в диапазоне 2,4–2,5 ГГц. Внешний вид усилителя мощности СВЧ с кольцевым делителем показан на рис. 5.

С целью уменьшения затухания сигнала вместо кольцевого делителя мощности может быть использован циркулятор. Внешний вид усилителя СВЧ с циркулятором показан на рис. 6, выигрыш в усилении такого решения составляет не менее 1,5 дБ. Полученный экспериментально коэффициент усиления по мощности для обеих физических реализаций усилителей показан на рис. 7.

Среди имеющихся сейчас на рынке преобладают радиоустройства IEEE802.11с выходной мощностью 100 мВт. Для увеличения их выходной мощности можно использовать конструкцию уже рассмотренных усилителей СВЧ мощности, сменив транзистор на более мощный, например, на CLY10 того же произ-

водителя. Обладая меньшим усилением — не более 7 дБ — CLY10 обеспечивает максимальную выходную мощность 32 дБм в рассматриваемой полосе частот. Применив этот транзистор на том же топологическом рисунке, изменив лишь параметры согласующих цепей, автору удалось получить значение мощности на выходе циркулятора не менее 450 мВт при входной мощности 100 мВт. Стоит отметить однако, что обычный стеклотекстолит — неоптимальный материал для использования на частотах 2,5 ГГц. Используя другие диэлектрики в качестве печатной платы, в частности, фторопласт ФАФ-4, можно существенно улучшить полученные результаты.

К наиболее значимым недостаткам использования полевых транзисторов в подобных усилителях следует отнести прежде всего широкий разброс параметров, что требует подстройки согласующих цепей при замене транзистора. Кремниевые транзисторы обладают лучшей повторяемостью параметров, но уступают первым по максимальной мощности и коэффициенту усиления.

Литература

1. Сергей Пахомов. Анатомия беспроводных сетей // Компьютер-пресс. 2002. № 7.
2. Carl Andren, Mike Paljug, Doug Schultz. PRISM1KIT-EVAL DSSS PC Card Wireless LAN Description. Application Note 9624.6. Intersil. 1999.
3. Г. И. Веселов, Е. Н. Егоров, Ю. Н. Алехин и др. Микроэлектронные устройства СВЧ: Учеб. пособие для радиотехнических специальностей вузов/Под ред. Г. И. Веселова. М.: Высшая школа. 1988.

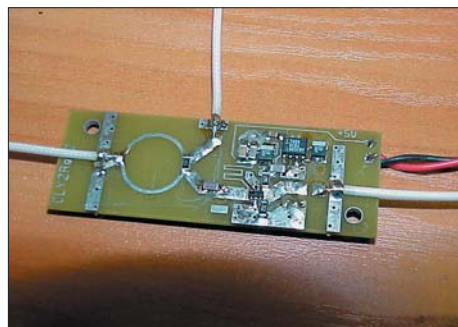


Рис. 5. Внешний вид усилителя мощности СВЧ с кольцевым делителем мощности

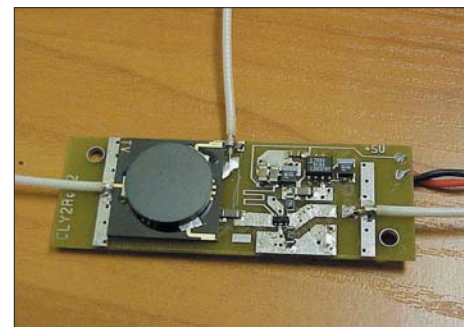


Рис. 6. Внешний вид усилителя мощности СВЧ с циркулятором

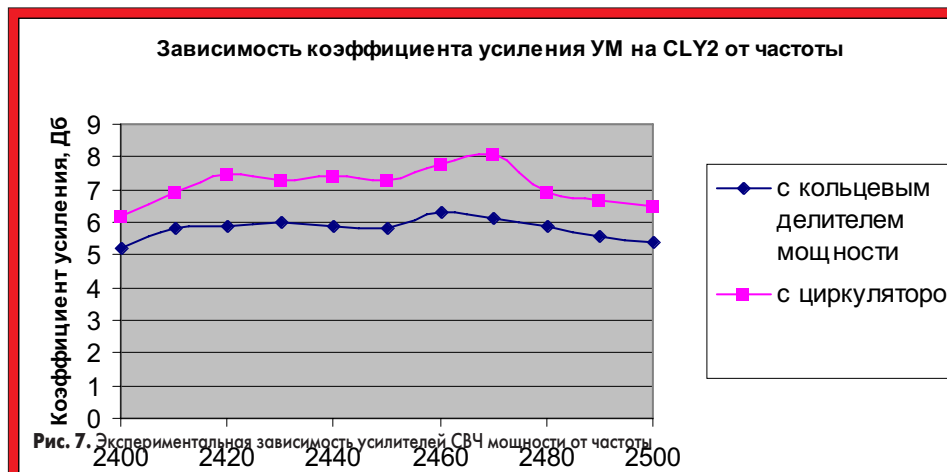


Рис. 7. Экспериментальная зависимость усилителей СВЧ мощности от частоты