



УДК 621.372

Д. А. Усанов, А. В. Скрипаль
Саратовский государственный университет
им. Н. Г. Чернышевского
В. Н. Посадский, В. С. Тяжлов, Д. В. Григорьев
ЗАО «НПЦ "Алмаз-Фазотрон"» (Саратов)

СВЧ-умножители высокой кратности¹

Приведены результаты разработки и экспериментального исследования умножителя частоты СВЧ-диапазона с кратностью умножения 24, работающего в сантиметровом диапазоне длин волн с использованием двух встречновключенных диодов и полосно-пропускающего фильтра, настроенного на гармонику высокой кратности.

СВЧ-умножитель высокой кратности, встречновключенные полупроводниковые диоды, полосно-пропускающий фильтр

Умножители частоты – важнейшие узлы формирователей (синтезаторов) частот, активными элементами которых чаще всего выступают полупроводниковые умножительные диоды [1]. Умножители частоты, как правило, имеют меньший уровень шума по сравнению, например с генератором, при отстройке частоты от несущей в "ближней" зоне на 300 Гц...2 кГц. Схема умножителя частоты может строиться либо как многокаскадное устройство, состоящее из нескольких умножителей частоты с небольшой кратностью (обычно два или три), либо как однокаскадная схема с умножением высокой кратности (больше 10) [2]. Схемы с высокой кратностью умножения, активно исследуемые в последние годы, пока сравнительно редко используются на практике в связи с малыми амплитудами гармоник и, как следствие, с необходимостью использования высокочувствительного оборудования при работе с сигналом на выходе.

Известно [3], что в реальных умножителях сантиметрового (по выходной частоте) диапазона длин волн при коэффициенте умножения, равном двум, максимально достигнутый коэффициент преобразования составляет 60...70%. При увеличении коэффициента умножения коэффициент преобразования падает. Например в умножителях частоты на три, он уже не превышает 40...50%, а в умножителе частоты на восемь составляет всего 10...12%

[3]. Тем не менее они обеспечивают малые шумы, энергопотребление, габариты и массу, что особенно важно, когда речь идет о бортовых системах.

В современной технике в качестве умножителей используют активные элементы: транзисторы и диоды [2]. Вторые более популярны благодаря простым схемам включения и высоким коэффициентам преобразования гармоник. В наиболее распространенных схемах умножителя используется, как правило, один диод [2]. Однако есть примеры использования и двух диодов, в частности при преобразовании сигнала с повышением частоты [4]. Указанное решение увеличивает коэффициент преобразования и снижает КСВН системы, поэтому целесообразно использовать два диода, включенных встречно и параллельно, в качестве умножителей частоты.

В настоящей статье представлены характеристики умножителей с кратностью умножения 24 с использованием двух встречновключенных диодов.

На рис. 1 и 2 представлены эквивалентные схемы умножителя с одним диодом и двумя диодами соответственно. В используемых схемах применялись конденсаторы NPO номиналами C1 – 82 пФ, C2, C3 – 20 пФ, переменный резистор R1 – перестраиваемый в диапазоне 0...1288 Ом; переменные индуктивности L1 и L2 – перестраиваемые в диапазоне 0...48 и 0...10 нГн соответ-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (государственные задания № 946, 1376 и 1575) и предприятия ЗАО «НПЦ "Алмаз-Фазотрон"».

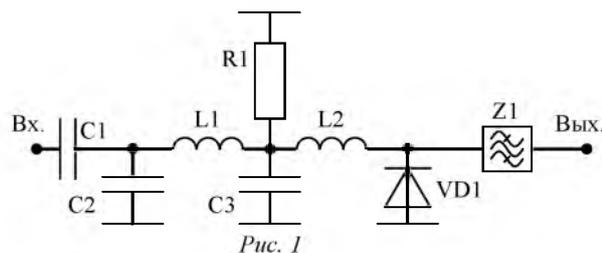


Рис. 1

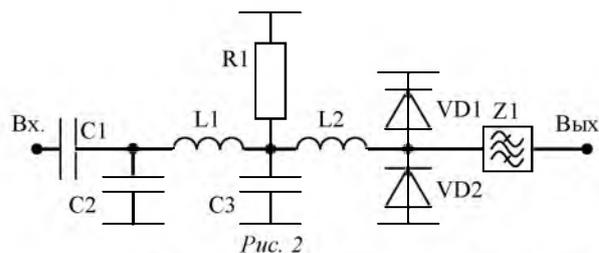


Рис. 2

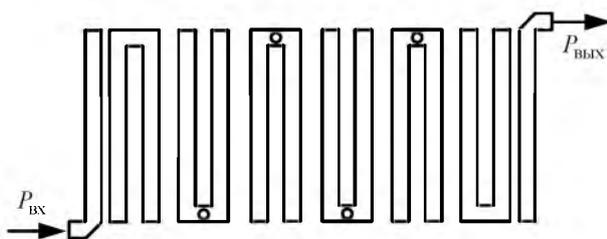


Рис. 3

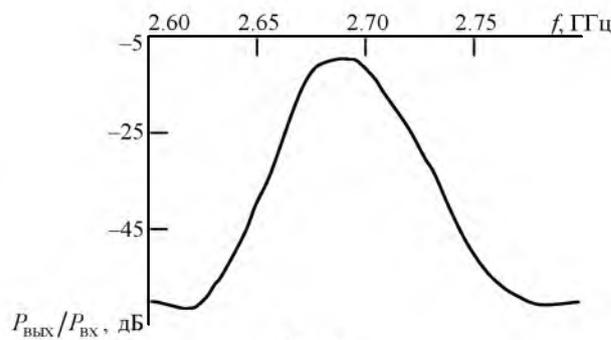


Рис. 4

ственно. В качестве умножительных диодов использовались серийно выпускаемые планарно-эпитаксиальные диоды 2А604А.

Для выделения из спектра выходного сигнала $P_{\text{ВЫХ}}$ 24-й гармоники входного сигнала $P_{\text{ВХ}}$ использован настроенный на искомую 24-ю гармонику выходной полосно-пропускающий фильтр Z1, выполненный в микрополосковом исполнении. Топология фильтра и его амплитудно-частотная характеристика представлены на рис. 3 и 4 соответственно.

Макет микрополоскового умножителя частоты с кратностью 24 при использовании в качестве нелинейного элемента двух встречновключенных умножительных диодов представлен на рис. 5.

Мощность входного сигнала на частоте 111.98 МГц составляла 60 мВт. Выходной сигнал исследуемых умножителей измерялся с использованием анализатора спектра Agilent PXA 9030 А.

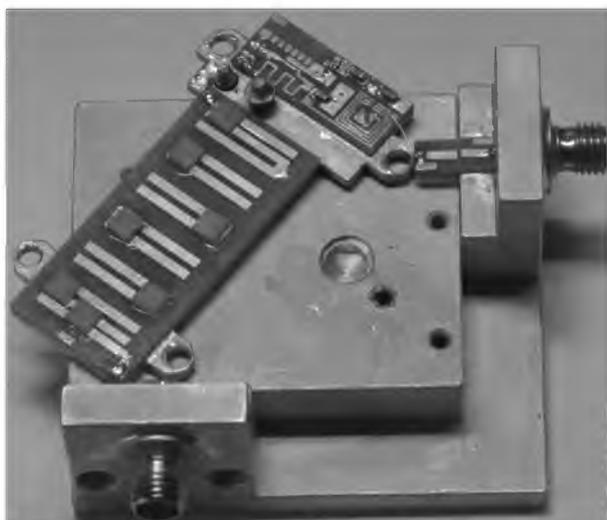


Рис. 5

Спектры выходного сигнала исследованы на частоте, соответствующей 24-й гармонике входного сигнала, при использовании в качестве нелинейного элемента одного умножительного диода или двух встречновключенных диодов как при наличии, так и при отсутствии в схеме умножителя выходного полосно-пропускающего фильтра, настроенного на искомую 24-ю гармонику.

В результате экспериментов установлено, что при отсутствии в схеме умножителя выходного полосно-пропускающего фильтра и использовании в качестве нелинейного элемента одного умножительного диода выходная мощность на 24-й гармонике входного сигнала составила – 42.27 дБм, а при использовании двух встречновключенных диодов составила – 37.86 дБм.

Спектр выходного сигнала при наличии в схеме полосно-пропускающего фильтра, настроенного на 24-ю гармонику, и при использовании одного умножительного диода представлен на рис. 6, при использовании двух умножительных диодов – на рис. 7. На этих рисунках маркером отмечена 24-я гармоника входного сигнала. Из приведенных спектров следует, что при наличии в схеме полосно-пропускающего фильтра и использовании одного умножительного диода выходная мощность на 24-й гармонике входного сигнала составила –23.35 дБм, в то время как при использовании двух встречновключенных диодов составляла –19.60 дБм. В полосе пропускания используемого фильтра ослабление сигнала – около 10 дБ.

Увеличение мощности 24-й гармоники в схеме умножителя как с одним, так и с двумя диодами при использовании фильтра, настроенного на эту гармонику, обусловлено нелинейным харак-

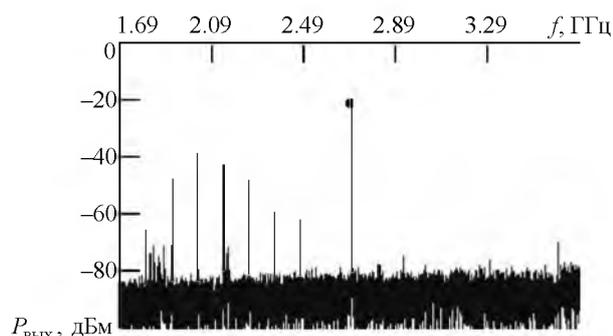


Рис. 6

тером нагрузки умножительного диода и связанным с этим нелинейным режимом его работы [5]. При нагрузке в виде полосно-пропускающего фильтра, настроенного на 24-ю гармонику, мощность, расходуемая на возбуждение остальных гармоник, находящихся за пределами полосы пропускания фильтра, уменьшается. За счет этого большая часть мощности входного сигнала, поступающая на умножительный диод, преобразуется в мощность 24-й гармоники.

Одним из важнейших параметров умножителей высокой кратности является спектральная плотность мощности частотных флуктуаций на частоте выходного сигнала. Как следует из результатов эксперимента, ее значение не превышало -130 дБ/Гц

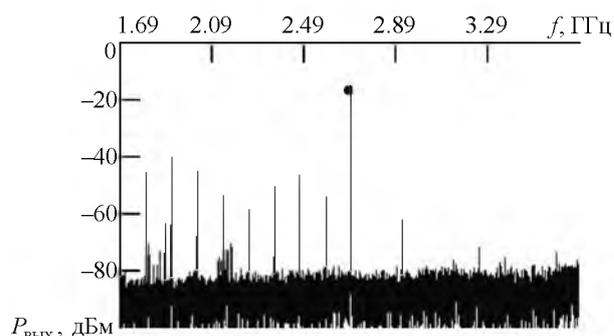


Рис. 7

на отстройке 10 кГц от выделенной гармоники в схеме с одним, так и с двумя умножительными диодами.

Таким образом, использование в качестве умножителей частоты высокой кратности схемы с двумя встречновключенными умножительными диодами и полосно-пропускающим фильтром, настроенным на гармонику высокой кратности, позволяет значительно (на 4 дБ), повысить уровень мощности выходного сигнала на 24-й гармонике входного сигнала. При этом спектральная плотность мощности частотных флуктуаций на частоте выходного сигнала остается на уровне, соответствующем случаю использования только одного умножительного диода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манаев Е. И. Основы радиоэлектроники. М.: Радио и связь, 1990. 512 с.
2. Бруевич А. Н. Умножители частоты. М.: Сов. радио, 1970. 248 с.
3. Заславский А. М. Однокаскадные умножители частоты сверхвысокой кратности на диодах с накоплением заряда для синтезаторов частот // Электрон. техника. Сер. Электроника СВЧ. 1986. Вып. 3. С. 23–28.
4. Усанов Д. А., Абрамов А. Н., Астахов А. С. Микрорезонаторный преобразователь частоты "вверх" на диодах с барьером Шоттки // Электрон. техника. Сер. Электроника СВЧ. 1983. Вып.4(352). С. 61–62.
5. Усанов Д. А., Скрипаль А. В. Физика работы полупроводниковых приборов в схемах СВЧ. Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 1999. 376 с.

D. A. Usanov, A. V. Skripal
Saratov state university n. a. N. G. Chernyshevsky
V. N. Posadskii, V. S. Tiazhlov, D. V. Grigoriev
JSC "SPC centre «Almaz-Phasotron»» (Saratov)

High ratio microwave frequency multipliers

The results of development and experimental investigation of the microwave frequency multiplier with ratio 24 operated in the centimeter wavelength range with use of two back-to-back diodes and bandpass filter tuned to the high ratio harmonic have been represented.

High ratio microwave frequency multiplier, back-to-back diodes, band-pass filter

Статья поступила в редакцию 30 мая 2014 г.