

# ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ РАДИОАСТРОНОМИИ, РАДИОФИЗИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

---

УДК 537.962:621.396.62

В. И. ПОДЬЯЧИЙ

Радиоастрономический институт НАН Украины,  
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина  
E-mail: pidyachiy@yandex.ua

---

## УТРОИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ НА ДИОДАХ С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ В ПРИЕМНИКЕ 3-ММ ДИАПАЗОНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛИНИЙ ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ГАЗОВ

*Разработан утроитель частоты на диоде с барьером Шоттки для приемной системы 3-мм диапазона, с помощью которой проводятся наблюдения линий излучения атмосферных озона и монооксида углерода на частотах 110.836 и 115.271 ГГц соответственно. Исследованы характеристики использованного в работе варактора и рассчитаны его предельные значения эффективности утроения частоты в 3-мм диапазоне длин волн. Предложена конструкция умножителя, которая позволила реализовать близкие к расчетным уровни эффективности преобразования частоты. Исследованы характеристики разработанного умножителя в диапазоне частот  $109 \div 136$  ГГц. На частоте 132 ГГц реализовано значение выходной мощности 8 мВт при мощности накачки около 62 мВт. Измерены зависимости эффективности, выходной мощности и рабочего тока утроителя от входной мощности на требуемой для атмосферного приемника частоте 112.5 ГГц. Максимальное значение эффективности (18 %) реализовано на этой частоте при мощности накачки 15 мВт. Определены значения входной мощности, рабочего тока и обратного смещения разработанного утроителя частоты, необходимые для оптимальной работы приемника при наблюдении линий излучения атмосферных газов.*

*Ключевые слова:* утроитель частоты, атмосферный приемник, эффективность преобразования частоты, входная мощность, выходная мощность

### 1. Введение

Проведение постоянного мониторинга атмосферы требует надежной измерительной аппаратуры с длительным рабочим ресурсом. По окончании рабочего ресурса используемой элементной базы должна быть возможность достаточно простой и недорогой ее замены. На сегодняшний день этим требованиям удовлетворяет твердотельная техника. В малощумящих атмосферных приемниках миллиметрового диапазона, разработанных в различных исследовательских лабораториях, в качестве гетеродина обычно используются генераторы на диодах Ганна с генерацией мощности на основной частоте [1], удвоенной [2, 3] или утроенной [4]. В Радиоастрономическом институте НАН Украины несколько лет назад была создана приемная система для

исследований атмосферы в 3-мм диапазоне [5]. В приемнике в качестве гетеродина использовалась лампа обратной волны (ЛОВ). Для проведения длительного мониторинга атмосферы необходимо было заменить ЛОВ твердотельным гетеродином. После анализа этой проблемы с учетом наличия элементной базы и возможных характеристик конечного прибора было принято решение создать гетеродин 3-мм диапазона в виде генератора Ганна 8-мм диапазона с последующим утроением частоты на диоде с барьером Шоттки (ДБШ).

В статье представлены результаты разработки утроителя частоты на ДБШ, используемого в приемнике 3-мм диапазона, предназначенного для наблюдений линий излучения атмосферных озона и монооксида углерода на частотах 110.836 и 115.271 ГГц соответственно. В разделе 2 проанализированы требования к мощности гетеродина атмосферного приемника и критической

частоте умножительного диода, при которой возможно реализовать необходимую эффективность преобразования утроителя частоты. Измерена вольт-фарадная характеристика используемого нелинейного элемента и рассчитан его предельно возможный уровень эффективности утроения частоты. В разделе 3 описана конструкция разработанного утроителя. В разделе 4 представлены характеристики умножителя в зависимости от рабочей частоты и уровня мощности накачки. Определен оптимальный режим работы разработанного утроителя частоты при использовании его в приемнике 3-мм диапазона для исследований линий излучения атмосферных газов.

## 2. Теоретическая эффективность умножителя частоты

Оптимальный режим работы смесителя приемной системы 3-мм диапазона реализуется при мощности гетеродина около 0.5 мВт [6]. Мощность гетеродина подводится к смесителю с помощью диплексера, в гетеродинном плече которого расположен фильтр для подавления избыточного шума генератора Ганна [7]. Предварительные исследования показали, что эффективное подавление шумов гетеродина на промежуточной частоте приемника 1.5 ГГц реализуется с помощью фильтра с затуханием не менее 9 дБ. В конечном итоге это накладывает требования на эффективность преобразования утроителя частоты (отношение мощности на выходной частоте  $f_{out}$  к мощности накачки) не менее 8 % при стандартной мощности генератора Ганна 8-мм диапазона около 50 мВт.

Эффективность преобразования умножителя частоты на варакторе  $\eta$  может быть записана в следующем виде [8, 9]:

$$\eta = \exp(-\alpha f_{out}/f_c),$$

где  $f_c = \frac{1}{2\pi R_s C_{min}} \left(1 - \frac{C_{min}}{C_{max}}\right)$  – “динамическая критическая частота” варактора,  $R_s$  – последовательное сопротивление варактора,  $C_{min}$  и  $C_{max}$  – минимальное и максимальное значения емкости диода за период колебаний сигнала накачки;  $\alpha$  – эмпирический коэффициент, который для утроите-

ля равен 16.5 при размахе напряжения на варакторе от пробивного до нуля [8].

Для наблюдений линий излучения озона и монооксида углерода в приемнике 3-мм диапазона с промежуточной частотой 1.5 ГГц необходимо использовать излучение гетеродина на частоте около 113 ГГц. Для получения на этой частоте эффективности преобразования утроителя 8 %, как следует из приведенной выше формулы, умножительный ДБШ должен иметь значение  $f_c = 738$  ГГц. При этом на практике для реализации рассчитанного значения эффективности необходимо обеспечить следующие условия. Во-первых, реализовать согласованный режим работы нелинейного элемента с внешними цепями на входной и выходной частотах. Во-вторых, реализовать в утроителе на 2-й гармонике частоты накачки чисто реактивную цепь с максимально возможным значением тока этой гармоники. И, наконец, обеспечить оптимальные нагрузки в виде разомкнутых цепей для всех высших гармоник. Следует также учитывать, что в эксперименте эффективность преобразования умножителя частоты снижается на величину резистивных потерь в его подводящих цепях. Таким образом, принимая во внимание изложенное выше, для решения поставленной в работе задачи необходимо использовать варакторные ДБШ с более высоким, чем 738 ГГц, значением критической частоты, так как на практике, особенно в коротковолновой части миллиметрового диапазона, не удается реализовать предельно возможные значения эффективности преобразования частоты умножителей [8–10].

В работе использовались отечественные бескорпусные умножительные ДБШ, изготовленные на предприятии “Сатурн” (г. Киев). Среднее значение последовательного сопротивления этих диодов, рассчитанное из измеренных вольт-амперных характеристик нескольких рабочих точек на одном чипе, составляет 9 Ом. Значение “динамической критической частоты” использованного варактора было определено после исследования его вольт-фарадной характеристики. Емкость барьера измерялась с помощью промышленного измерителя емкости Е7-12 на частоте 1 МГц. Для этого специально была изготовлена измерительная камера, в которой между торцами двух металлических стержней помещался исследуемый диод. При диаметре

стержней 1 мм и расстоянии между ними около 0.5 мм емкость между торцами стержней составляет  $0.2 \div 0.3$  пФ. При измерении отсчитываются два значения емкости: суммарной емкости стержней с диодом (контакт замкнут) и емкости стержней без ДБШ (контакт разомкнут). Разность между ними и составляет значение емкости барьера исследуемого элементарного диода на чипе. Разрыв контакта производится после измерения суммарной емкости стержней с диодом в зависимости от напряжения смещения. На рис. 1 приведена типичная вольт-фарадная характеристика использованного умножительно-го ДБШ. Как видно из приведенной зависимости, минимальное значение емкости диода  $C_{\min}$  реализуется при обратном смещении 20 В и составляет 11 фФ. При дальнейшем повышении обратного напряжения через диод начинает течь обратный ток, что в конечном итоге ведет к пробое диода. Для корректной оценки предельного значения эффективности преобразования утроителя на нелинейной емкости (без частичного открывания перехода) необходимо в расчете в качестве  $C_{\max}$  использовать значение емкости при нулевом смещении. Как видно из рис. 1, это значение составляет 38 фФ. При  $C_{\min} = 11$  фФ,  $C_{\max} = 38$  фФ и  $R_s = 9$  Ом значения “динамической критической частоты” варактора и эффективности преобразования утроителя частоты на 113 ГГц составляют около 1140 ГГц и 20 % соответственно.

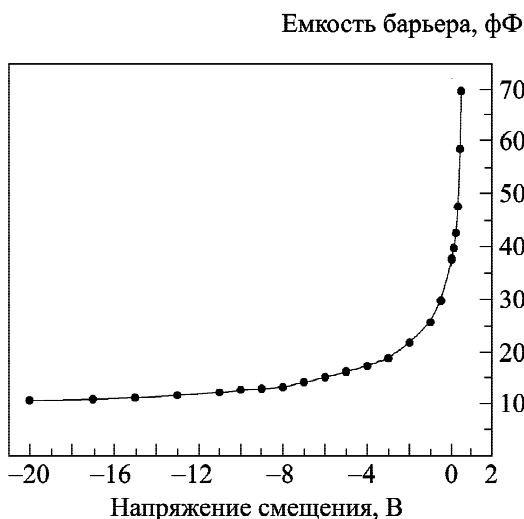


Рис. 1. Вольт-фарадная характеристика умножительного диода

Из выражения для “динамической критической частоты” следует, что значение  $f_c$  растет с уменьшением отношения минимального значения емкости диода к максимальному. Поэтому при работе утроителя в режиме частичного открывания перехода, когда растет максимальное значение емкости варактора, по-видимому, возможно реализовать более высокие значения эффективности преобразования умножителя, тем более если в этом режиме работы импедансы нелинейного элемента будут ближе к оптимальным.

### 3. Конструкция

Умножитель частоты изготовлен по классической крестообразной схеме, когда входной и выходной волноводы расположены друг над другом под прямым углом (рис. 2). Между двумя частями умножителя, в каждой из которых на строгальном станке изготовлены волноводные каналы, расположены три посеребренные пластины, которые образуют проходной фильтр между входным и выходным волноводами. Этот фильтр, обладая низким затуханием в диапазоне рабочих частот генератора накачки, препятствует прохождению выходного сигнала на вход умножителя.

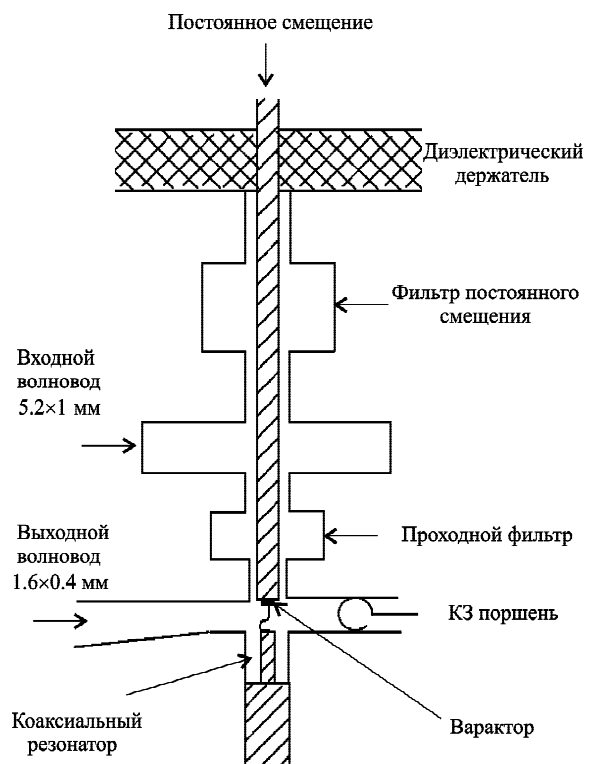


Рис. 2. Конструкция утроителя частоты

В умножителях частоты миллиметрового диапазона, как показывают расчеты [8–10], оптимальный уровень нагрузок нелинейного элемента со стороны умножительной камеры по входу и выходу обычно не превышает 100 Ом. Как известно, волновое сопротивление стандартного волновода в несколько раз больше этой величины. Поэтому в умножителях обычно используются волноводы с пониженной высотой. Так как диод расположен в выходном волноводе, на частоте накачки необходимо реализовать оптимальный режим работы коаксиально-волноводного перехода. Активная составляющая входного импеданса возбуждающего вибратора, расположенного посередине широкой стенки волновода, зависит от размеров и волнового сопротивления последнего, а также от длины вибратора и положения короткозамыкающего (КЗ) поршня в волноводе [11]. В случае, когда вибратор имеет длину равную высоте волновода и КЗ поршень расположен на расстоянии от него в четверть длины волны, активная часть входного сопротивления вибратора приближается к волновому сопротивлению коаксиального проходного фильтра (около 50 Ом) при понижении высоты волновода приблизительно в два раза. В разработанном утроителе частоты высота волновода накачки понижена до 1 мм. Такое умеренное понижение высоты позволило реализовать во входном тракте умножителя затухание, близкое к потерям в стандартном волноводе.

Оптимизация работы выходного тракта умножителя, где расположен нелинейный элемент, усложняется, так как здесь требуется понижение высоты волновода в 4–5 раз. В утроителях частоты в качестве выходной цепи обычно используется волновод с критической частотой, превышающей частоту 2-й гармоники, для того чтобы реализовать на этой частоте чисто реактивную цепь с максимально возможным током этой гармоники. В разработанном утроителе частоты на выходе использован волновод 2-мм диапазона, стандартные размеры которого  $1.6 \times 0.8$  мм. Понижение высоты такого волновода до размеров  $\leq 0.2$  мм привело бы к существенному росту затухания в выходном тракте утроителя. Поэтому был принят компромиссный вариант между оптимальным согласованием и низкими резистивными потерями в выходном волноводе, и высота

последнего была понижена, как видно из рис. 2, до 0.4 мм.

В отличие от смесительных камер миллиметрового диапазона на ДБШ [6, 12, 13], где индуктивность контактной иглы компенсирует емкость диода на одной частоте сигнала, в умножителях частоты такая компенсация требуется на нескольких частотах, существенно отличающихся друг от друга. Особенно усложняется эта проблема в утроителях, где входная и выходная частоты отличаются в три раза. В таких устройствах размеры контактной иглы, определяющие ее индуктивность, подбираются близкими к оптимуму на выходной частоте, а для согласования по входу вводятся дополнительные элементы в конструкцию утроителя, например, коаксиальный резонатор, расположенный в выходной цепи утроителя (см. рис. 2) [10, 14]. Такой резонатор, закороченный на конце, при длине, равной половине длины волны выходного сигнала, не влияет на характеристики выходной цепи. При этом на частоте накачки он вносит дополнительное индуктивное сопротивление около  $j1.7Z_0$ , где  $Z_0 = 60 \ln \frac{D}{d}$ ,  $D$  и  $d$  – внешний и внутренний диаметры коаксиальной линии резонатора соответственно. Эта индуктивность добавляется к индуктивности контактной иглы на частоте накачки, тем самым оптимизируя работу входной цепи утроителя. Длина резонатора подбирается для оптимальной работы утроителя на центральной частоте его рабочего диапазона. На верхнем краю полосы частот эффективность преобразования утроителя ограничивается чрезмерной индуктивностью резонатора по входу, а на нижнем – дополнительной емкостной реактивностью на частоте 2-й гармоники [14]. Для расширения полосы рабочих частот утроителя используются подвижные КЗ поршни во входном и выходном волноводах, положение которых и, соответственно, их реактивности, подбирается для каждой частоты отдельно.

#### 4. Характеристики утроителя частоты

При исследовании характеристик разработанного утроителя частоты в качестве генератора накачки использовался промышленный генератор Г4-141, мощность излучения которого измерялась термисторным мостом Я2М-64. Уровень выходной мощности умножителя регистрировался с по-

мощью измерителя мощности 3-мм диапазона РМЗ-1. Измеренные значения выходной мощности умножителя на частотах, превышающих верхнюю частоту (125 ГГц) рабочего диапазона волновода с размерами  $2.4 \times 1.2$  мм, можно считать несколько заниженными из-за роста коэффициента стоячей волны по напряжению измерительной головки прибора. На рис. 3 представлены зависимости эффективности преобразования разработанного утроителя от выходной частоты для двух значений длины контактной иглы. Там же показана зависимость мощности накачки от входной частоты.

Из рисунка видно, что при длине иглы 0.55 мм реализована полоса рабочих частот утроителя по выходу не менее 20 %. На частоте 132 ГГц получена максимальная эффективность преобразования (13 %) и соответственно максимальная выходная мощность (8 мВт). На частотах, требуемых в качестве гетеродинных для атмосферного приемника (112 ÷ 114 ГГц), эффективность умножения снижается приблизительно до 6 %. Увеличение длины контактной иглы на 15 %, как видно из графика, сдвигает максимум эффективности

умножения приблизительно на такое же значение в сторону нижних частот. При этом эффективность на требуемых частотах растет приблизительно до 10 %. С такой конфигурацией электродинамической системы утроителя были исследованы его характеристики на выходной частоте 112.5 ГГц в зависимости от мощности накачки. Результаты этих исследований представлены на рис. 4.

Видно, что наибольший уровень эффективности преобразования разработанного утроителя частоты (17 ÷ 18 %) реализован в интервале мощностей накачки от 13 до 17 мВт. С ростом уровня мощности накачки эффективность умножения снижается, так как при этом в течение некоторой части периода колебаний сигнала накачки через нелинейный элемент протекает прямой ток. В этом случае нелинейная емкость диода, на которой происходит преобразование частот, шунтируется динамическим сопротивлением, на котором теряется часть полезной мощности. Следует отметить, что максимальное значение эффективности, как видно из рис. 4, реализовано в разработанном утроителе при небольшом выпрямленном токе диода 0.15 мА. Это подтверждает пред-

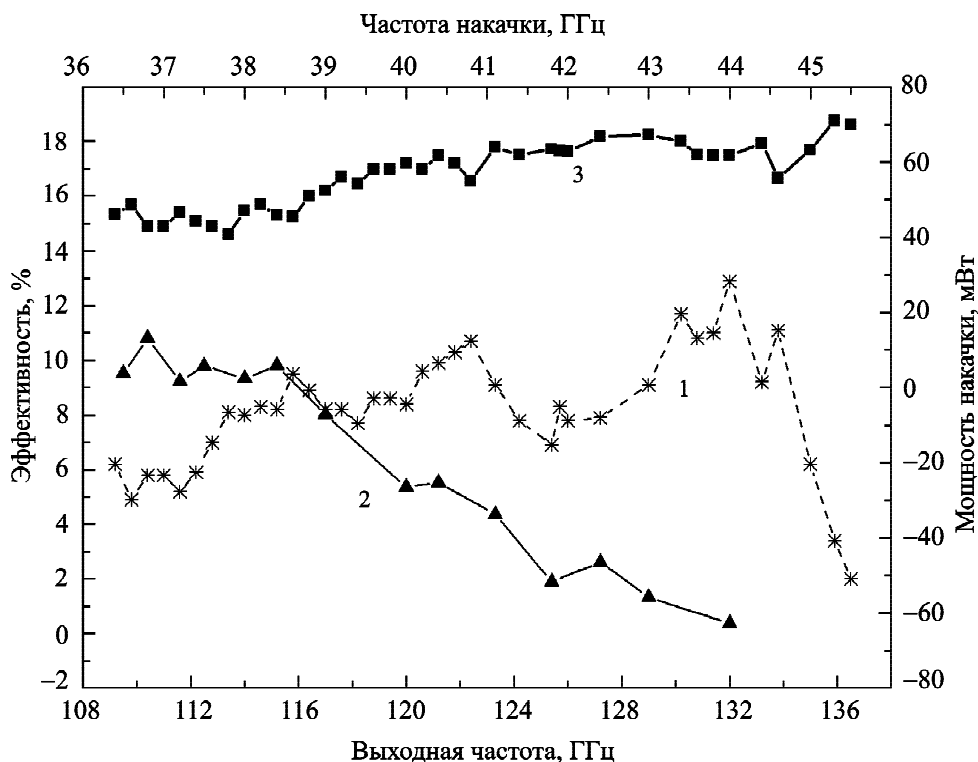


Рис. 3. Эффективность утроителя частоты для двух значений длины контактной иглы 0.55 мм (кривая 1), 0.65 мм (кривая 2) и мощность накачки (кривая 3) в полосе рабочих частот

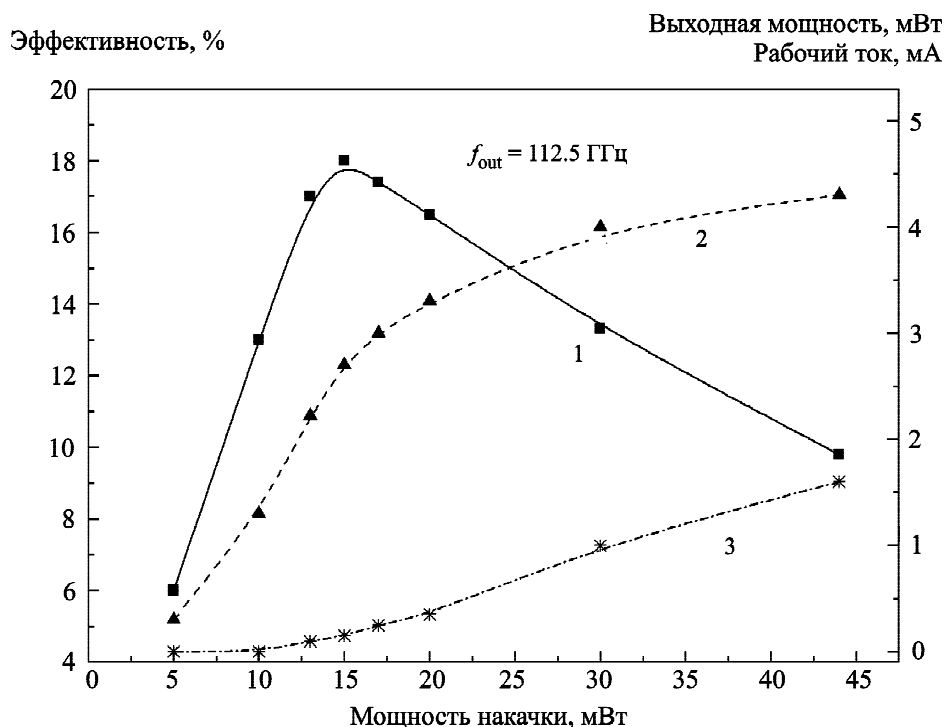


Рис. 4. Эффективность (кривая 1), выходная мощность (кривая 2) и рабочий ток (кривая 3) утроителя частоты в зависимости от мощности накачки на частоте  $f_{out} = 112.5 \text{ ГГц}$

положение, что в режиме работы умножителя частоты с частичным открыванием перехода, когда шунтирующее емкость диода его динамическое сопротивление еще достаточно велико, можно реализовать более высокие значения эффективности за счет большего изменения емкости барьера за период колебаний сигнала накачки.

Как видно из рис. 4, уровень выходной мощности умножителя растет с ростом мощности накачки на всем интервале изменений последней от 5 до 44 мВт. На интервале входных мощностей от 5 до 15 мВт, где эффективность преобразования выросла в 3 раза, выходная мощность утроителя, которая прямо пропорционально зависит как от мощности накачки, так и от эффективности, увеличилась соответственно в 9 раз. Дальнейшее повышение мощности накачки от 15 до 44 мВт (приблизительно в три раза) снизило эффективность, как видно из рис. 4, меньше чем в два раза, что привело в конечном итоге к росту выходной мощности от 2.7 до 4.3 мВт. Это объясняется тем, что в режиме работы утроителя с заходом на прямую ветвь вольт-амперной характеристики ДБШ к преобразованию частоты на

нелинейной емкости добавляется преобразование на нелинейном резисторе. И хотя эффективность последнего невелика (в идеальном умножителе она пропорциональна  $1/n^2$ , где  $n$  – номер гармоники), это немного увеличивает уровень выходной мощности. Для оптимальной работы атмосферного приемника, как отмечалось во введении, требуется мощность гетеродина с учетом затухания в диплексере около 4 мВт. Как видно из рис. 4, такой уровень выходной мощности утроителя реализуется при мощности накачки выше 30 мВт. Поэтому в окончательной сборке приемника разработанный утроитель частоты использовался с генератором Ганна 8-мм диапазона с мощностью излучения 50 мВт. В цепи постоянного тока умножительного диода использовался резистор автосмещения около 7 кОм, который обеспечил необходимые значения обратного смещения диода приблизительно 10 В и рабочего тока около 1.5 мА. Частоты гетеродина выбраны таким образом, что для наблюдения озона частота гетеродина устанавливается на 1.5 ГГц выше частоты излучения этого газа, а для монооксида углерода – ниже на 1.5 ГГц. Это позволяет при перестройке рабочей частоты приемника лишь

устанавливать требуемую частоту излучения генератора Ганна и немного подстраивать КЗ поршень в выходном тракте утроителя частоты. При этом КЗ поршни в смесителе приемника и входном тракте умножителя остаются в фиксированном положении.

## 5. Заключение

Представлены результаты разработки утроителя частоты 3-мм диапазона на отечественных умножительных диодах с барьером Шоттки. Разработанный утроитель используется в приемнике, с помощью которого в Радиоастрономическом институте НАН Украины проводятся наблюдения линий излучения атмосферных озона и монооксида углерода на частотах 110.836 и 115.271 ГГц соответственно. Исследованы характеристики используемого нелинейного элемента, на основе которых рассчитаны его предельно возможные значения эффективности утроения частоты в 3-мм диапазоне (около 20 % на частоте 113 ГГц). Предложена конструкция утроителя частоты, в которой реализованы близкие к расчетным значения эффективности преобразования частоты (18 % на частоте 112.5 ГГц при мощности накачки 15 мВт). Исследованы характеристики разработанного умножителя в широкой полосе рабочих частот от 109 до 136 ГГц при различных значениях длины контактной иглы – основного элемента внешней по отношению к диоду цепи утроителя частоты. На частоте 132 ГГц при мощности накачки около 62 мВт реализован максимальный уровень выходной мощности умножителя частоты 8 мВт. На частоте 112.5 ГГц, требуемой в качестве гетеродинной для атмосферного приемника, исследованы зависимости эффективности преобразования частоты и выходной мощности от уровня мощности накачки. По этим данным определен режим работы утроителя частоты (мощность накачки 50 мВт, обратное смещение 10 В, рабочий ток 1.5 мА), при котором реализовано необходимое для оптимальной работы атмосферного приемника значение выходной мощности умножителя частоты около 4.5 мВт.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Forkman P., Christensen O. M., Eriksson P., Urban J., and Funke B.* Six years of mesospheric CO estimated from ground-based frequency-switched microwave radiometry at 57° N compared with satellite instruments // *Atmos. Meas. Tech.* – 2012. – Vol. 5, No. 11. – P. 2827–2841.
2. *Raffalski U., Berg H., Hochschild G., and Kopp G.* Continuous ozone measurements over Kiruna during winter/spring 2002: A new millimeter wave radiometer operated at the Swedish Institute of Space Physics, Kiruna, Sweden // *Proc. of the Sixth European Symposium on Stratospheric Ozone Research.* – Gothenberg (Sweden). – 2002. – P. 369–377.
3. *Hoffmann C. G., Raffalski U., Palm M., Funke B., W. Golchert S. H., Hochschild G., and Notholt J.* Observation of strato-mesospheric CO above Kiruna with ground-based microwave radiometry – retrieval and satellite comparison // *Atmos. Meas. Tech.* – 2011. – Vol. 4, No. 11. – P. 2389–2408.
4. *Berg H., Krupa R., Hochschild G., Kopp G., and Kuntz M.* Millimeter wave radiometer with adjustable internal calibration load for high resolution measurements of stratospheric constituents // *Proc. of 2nd ESA Workshop on Millimetre Wave Technology and Applications: Antennas, Circuits and Systems.* – Espoo (Finland). – 1998. – P. 372–377.
5. *Piddyachiy V. I., Shulga V. M., Myshenko V. V., Korolev A. M., Myshenko A. V., Antyufeyev A. V., Poladich A. V., and Shkoldin V. I.* 3-mm wave spectroradiometer for studies of atmospheric trace gases // *Radiophys. Quantum Electron.* – 2010. – Vol. 53, No. 5–6. – P. 326–333.
6. *Piddyachiy V. I., Korolev A. M., and Shulga V. M.* A very low-noise integrated 3mm-wave Schottky diode mixer and PHEMT IF amplifier // *Int. J. Infrared Millimeter Waves.* – 2005. – Vol. 26, No. 10. – P. 1381–1388.
7. *Shulga V. M., Myshenko V. V., and Myshenko A. V.* Low losses wide band diplexer for mm-wave heterodyne receiver // *Proc. of the 16<sup>th</sup> International Crimean Conference “Microwave and Telecommunication Technology”* – Sevastopol (Crimea, Ukraine). – 2006. – P. 575–576.
8. *Archer J. W.* Millimeter wavelength frequency multipliers // *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* – 1981. – Vol. 29, No. 6. – P. 552–557.
9. *Tolmunen T. J. and Raisanen A. V.* An efficient Schottky-varactor frequency multiplier at millimeter waves. Part I: Doubler // *Int. J. Infrared Millimeter Waves.* – 1987. – Vol. 8, No. 10. – P. 1313–1336.
10. *Tolmunen T. J. and Raisanen A. V.* An efficient Schottky-varactor frequency multiplier at millimeter waves. Part II: Tripler // *Int. J. Infrared Millimeter Waves.* – 1987. – Vol. 8, No. 10. – P. 1337–1353.
11. *Белоцерковский Г. Б.* Задачи и расчеты по курсу “Основы радиотехники и антенны”. – М.: Машиностроение, 1966. – 198 с.
12. *Piddyachiy V. I., Shulga V. M., Korolev A. M., and Myshenko V. V.* High doping density Schottky diodes in the 3mm wavelength cryogenic heterodyne receiver // *Int. J. Infrared Millimeter Waves.* – 2005. – Vol. 26, No. 9. – P. 1307–1315.
13. *Predmore C. R., Erickson N. R., Goldsmith P. E., and Marro J. L. R.* A broad-band, ultra-low-noise Schottky diode mixer receiver from 80 GHz to 115 GHz // *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* – 1984. – Vol. 32, No. 5. – P. 498–507.
14. *Erickson N. R.* A very low-noise single-sideband receiver for 200–260 GHz // *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* – 1985. – Vol. 33, No. 11. – P. 1179–1188.

*V. I. Pidnyachiy*

Радіоастрономічний інститут НАН України,  
вул. Червонопрапорна, 4, м. Харків, 61002, Україна

ПОТРОЮВАЧ ЧАСТОТИ НА ДІОДІ З БАР'ЄРОМ  
ШОТТКІ В ПРИЙМАЧІ 3-ММ ДІАПАЗОНУ  
ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЛІНІЙ ВИПРОМІНЮВАННЯ  
АТМОСФЕРНИХ ГАЗІВ

Розроблено потроювач частоти на діоді з бар'єром Шоттки для приймальної системи 3-мм діапазону, за допомогою якої виконуються спостереження ліній випромінювання атмосферних озону та монооксиду вуглецю на частотах 110.836 та 115.271 ГГц відповідно. Досліджено характеристики використаного в роботі варактора та розраховано його граничні значення ефективності потроєння частоти в 3-мм діапазоні довжин хвиль. Запропоновано конструкцію помножувача, яка дозволила реалізувати близькі до розрахованих рівні ефективності перетворення частоти. Досліджено характеристики розробленого помножувача в діапазоні частот 109 ÷ 136 ГГц. На частоті 132 ГГц реалізовано значення вихідної потужності 8 мВт при потужності накачування близько 62 мВт. Виміряно залежності ефективності, вихідної потужності і робочого струму потроювача від вхідної потужності на необхідній для атмосферного приймача частоті 112.5 ГГц. Максимальне значення ефективності (18 %) реалізовано на цій частоті при потужності накачування 15 мВт. Визначено значення вхідної потужності, робочого струму і зворотного зсуву розробленого потроювача частоти, які необхідні для оптимальної роботи приймача у спостереженні ліній випромінювання атмосферних газів.

*V. I. Pidnyachiy*

Institute of Radio Astronomy, National Academy  
of Sciences of Ukraine,  
4, Chervonopraporna St., Kharkiv, 61002, Ukraine

SCHOTTKY DIODE TRIPLER IN THE 3-MM WAVE  
RECEIVER FOR INVESTIGATION  
OF ATMOSPHERIC GASES

A Schottky diode frequency tripler for the 3-mm receiver system designed for observation of ozone and carbon monoxide spectral lines at frequencies 110.836 and 115.271 GHz, respectively, is developed. The used varactor parameters are investigated and its limiting values of frequency tripling efficiency in the 3-mm wavelengths calculated. A design of the multiplier, which allows to realize close to the calculated levels of frequency conversion efficiency is proposed. The characteristics of the developed multiplier are investigated within the frequency range 109–136 GHz. The output power of 8 mW is obtained at 132 GHz with about 62 mW pumping power. The tripler efficiency, output power and operating current at the desired frequency for atmospheric receiver of 112.5 GHz were measured. The highest efficiency (18 %) has been realized at this frequency with 15 mW input power. The values of the input power, operating current and reverse bias of the developed frequency tripler required for optimal receiver performance for observation of the emission lines of atmospheric gases have been determined.

*Статья поступила в редакцию 07.08.2014*