

Р. М. МАМЕДЛИ, Г. Г. СОЛОДАРЬ, Л. А. ЯЦЕНКО

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УМНОЖИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ НА ДВУХКАСКАДНОЙ ЛБВ

Изготовлен и исследован умножитель частоты сантиметрового диапазона на двух спиралах, пронизываемых общим электронным пучком и размещенных в отпаянном баллоне. При коэффициенте умножения, равном трем, получен положительный коэффициент преобразования порядка 30 дб. Установлено, что максимальная выходная мощность умножителя сравнима с мощностью, отдаваемой вторым каскадом в режиме насыщения при использовании его в качестве усилителя. Показана возможность работы умножителя в широкой полосе частот.

Введение

Умножение частоты в диапазоне СВЧ широко используется в практике лабораторных исследований и в радиоаппаратуре самого различного назначения. Это объясняется необходимостью иметь высокостабильные по частоте колебания, в то время как непосредственная стабилизация частоты в этом диапазоне затруднительна. С другой стороны, интерес к умножению частоты обусловлен также возможностью использования этого эффекта для получения колебаний миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов.

Известны методы умножения частоты при помощи различного рода нелинейностей. Один из возможных способов умножения частоты — использование нелинейности электронного потока.

В диапазоне СВЧ хорошо изучены умножители такого рода на триодах и клистронах, однако и те и другие без перестройки внешней резонансной системы не могут обеспечить работу в широкой полосе частот.

В последнее время появились работы, посвященные изучению умножителей частоты на двухсекционных лампах лучевого типа [1, 2, 3], лишенных отмеченного недостатка. В первой секции такого умножителя осуществляется модуляция электронного потока сигналом основной частоты. Сгруппировавшись в первой секции, а затем в пространстве между первой и второй секциями, электронный поток, насыщенный высшими гармониками, поступает во вторую секцию. В ней происходит дальнейшая группировка электронов и выделение нужной гармоники с одновременным ее усилением.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования умножителя частоты типа ЛБВ на двух спиралях, пронизываемых общим пучком. Входные частоты лежат в диапазоне 3000 мгц, выходные — в диапазоне 9000 мгц.

Конструкция умножителя частоты

Схематическое изображение умножителя в арматуре приведено на рис. 1. Как видно из рис. 1, умножитель состоит из электронной пушки (1), двух замедляющих систем спирального типа (2) и (3), разделенных пространством дрейфа, и коллектора (4). Обе спирали были

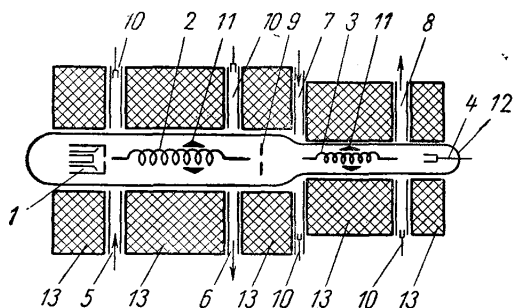


Рис. 1. Умножитель частоты с арматурой: 1 — электронная пушка, 2 — первая спираль, 3 — вторая спираль, 4 — коллектор, 5 — входной волновод 1-го каскада, 6 — выходной волновод 1-го каскада, 7 — входной волновод 2-го каскада, 8 — выходной волновод 2-го каскада, 9 — диафрагма, 10 — подстроечные поршни, 11 — локальные поглотители, 12 — стеклянный баллон, 13 — катушки фокусирующего соленоида

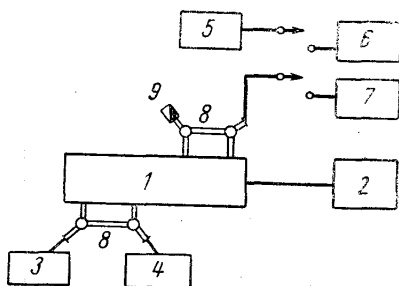


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки: 1 — арматура с исследуемой лампой, 2 — блок питания соленоида и лампы, 3 — генератор стандартных сигналов 10-сантиметрового диапазона, 4 — спектроанализатор 10-сантиметрового диапазона, 5 — генератор стандартных сигналов 3-сантиметрового диапазона, 6 — спектроанализатор 3-сантиметрового диапазона, 7 — измеритель малой мощности 3-сантиметрового диапазона, 8 — волноводные переключатели, 9 — согласованная нагрузка

согласованы со входными (5) и (7) и выходными (6) и (8) волноводами до КСВН не хуже 1,6.

Для устранения самовозбуждения в линиях замедления размещаются локальные поглотители (11).

Поскольку диаметр первой спирали равнялся 2,5 мм, а второй — 1,06 мм, диаметр электронного потока во второй спирали необходимо уменьшить по сравнению с диаметром потока в первой спирали. С этой целью между спиралями была помещена диафрагма, которая ограничивала диаметр пучка до необходимой величины.

Все узлы ламп размещались в специально изготовленном стеклянном баллоне длиной 450 мм, калиброванном по внутренней поверхности с большой точностью. Как видно из рис. 1, баллон состоит из двух частей разного диаметра.

Следует отметить, что к точности изготовления и к соосности элементов лампы из-за ее большой длины и наличия двух каскадов предъявляются особо жесткие требования. Это создает определенные трудности при сборке отдельных узлов и лампы в целом.

Для создания фокусирующего продольного магнитного поля была сконструирована и изготовлена специальная арматура с соленоидом,

состоящим из пяти секций, см. рис. 1 (13). Напряженность магнитного поля на оси соленоида могла регулироваться и достигать значения 1000 гс.

Экспериментальная установка

Блок-схема экспериментальной установки, на которой проводились измерения, приведена на рис. 2.

В качестве индикатора выходного сигнала использовался спектр-анализатор трехсантиметрового диапазона. При абсолютных измерениях мощности индикатор спектр-анализатора трехсантиметрового диапазона калибровался при помощи генератора стандартных сигналов трехсантиметрового диапазона.

Волноводные переключатели (8) рис. 2 позволяли производить измерения параметров 1-й и 2-й половин лампы при независимой их работе в режиме усиления. В последнем случае на вход 2-й половины лампы подавался сигнал от генератора трехсантиметрового диапазона.

Для нормальной работы лампы требуется тщательная ее юстировка в соленоиде.

Питающие напряжения на электродах лампы во время эксперимента лежали в основном в пределах, рекомендуемых для режима усиления.

Экспериментальные результаты

На рис. 3 приведены типичные графики зависимости выходной мощности P_{11} основной частоты с выхода первой половины лампы, мощности P_{31} третьей гармоники с того же выхода и выходной мощности P_{33} 3-й гармоники от входной мощности сигнала основной частоты. При этом сигнал с частотой $f_{вх} = 3000$ мГц подавался на вход 1-го каскада лампы, а мощность 3-й гармоники снималась с выхода второго каскада.

Кривая 1 снята при постоянном напряжении на первой спирали, соответствующем максимальному усилению первой половины лампы. Характерной особенностью этой кривой являются следующие друг за другом максимумы и минимумы выходной мощности. При снятии второй кривой напряжение на первой спирали каждый раз подбиралось так, чтобы получить максимальную мощность на выход с умножителя. Напряжение на второй спирали для обеих кривых соответствовало максимальному усилению трехсантиметрового сигнала во второй половине лампы при использовании ее в качестве усилителя.

Как видно из рис. 3, мощность 3-й гармоники, превышающая уровень шумов спектр-анализатора трехсантиметрового диапазона, появляется при входной мощности порядка 10^{-8} вт. С увеличением $P_{вх}$ эта мощность растет, затем наступает «насыщение».

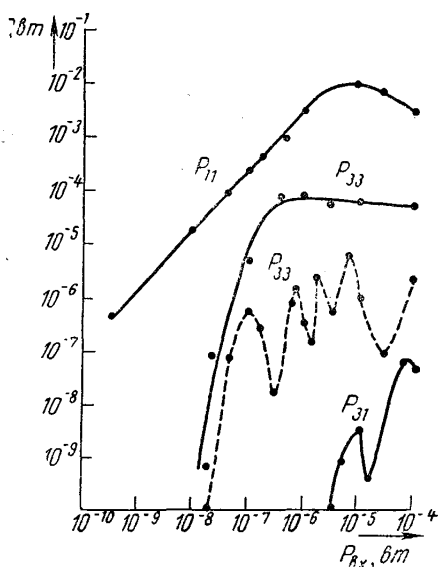


Рис. 3. Графики зависимости выходной мощности основной частоты первого каскада (P_{11}) мощности 3-й гармоники на выходе первого каскада (P_{31}) и выходная мощность умножителя (P_{33}) в зависимости от входной мощности

Для того чтобы выяснить связь эффекта умножения с режимом работы лампы были одновременно сняты графики выходной мощности P_{11} основной частоты с выхода первой половины лампы и мощности P_{31} 3-й гармоники с того же выхода в зависимости от входной мощности основной частоты. Они представлены на том же рисунке.

Напряжения на 1-й и 2-й спирали во время измерения не менялись и соответствовали максимальному усилению в 1-й и 2-й половине лампы.

Мощность 3-й гармоники на выходе первой половины лампы появляется тогда, когда эта половина входит в режим насыщения (при $P_{вх} 3 \cdot 10^{-8}$ вт). Этот факт понятен и не требует дополнительных пояснений.

В то же время мощность P_{33} появляется на выходе прибора еще при линейном режиме работы пер-

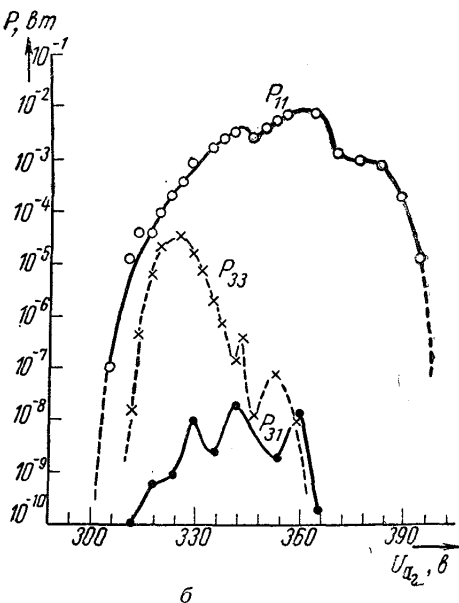
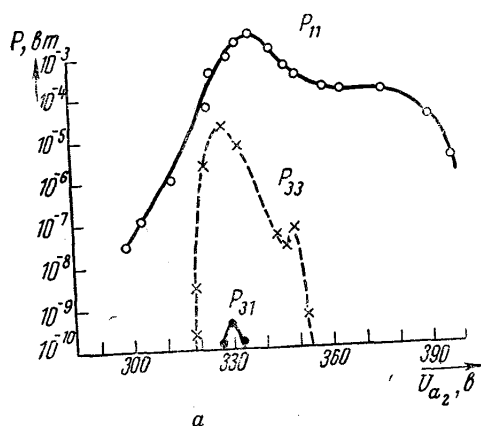


Рис. 4. Графики зависимости тех же величин, что и на рис. 3 от напряжения на первой спирали: а — $p_{вх} = 5 \cdot 10^{-6}$ вт; б — $p_{вх} = 10^{-5}$ вт

вой половины лампы, тогда как содержание гармоник в электронном потоке на выходе первой спирали при этом пренебрежимо мало. Это объясняется, по-видимому, тем, что электроны, пролетая пространство дрейфа, а также начальный участок второй спирали, дополнительно группируются.

Механизм такого группирования несколько отличается от клистронного механизма. В клистроне у электронного потока при входе в пространство дрейфа имеется только модуляция по скорости. В нашем же случае модуляция имеет место как по скорости, так и по плотности. Анализ процесса группирования электронного потока на выходе спирали приведен в [3].

На рис. 4 даны зависимости мощности основной частоты P_{11} на выходе первой половины лампы, мощности 3-й гармоники P_{31} на том же выходе и мощности 3-й гармоники P_{33} на выходе второй половины лампы от напряжения на первой спирали U_{a2} . Измерения проводились при разных уровнях входной мощности.

Рис. 4, а снят при входной мощности, соответствующей началу нелинейного участка амплитудной характеристики первого каскада умножителя, когда он только входит в режим насыщения. Рис. 4, б относится к ярко выраженному режиму насыщения первого каскада.

Приведем основные выводы из этих графиков.

Интервал значений напряжения на первой спирали, при котором имеет место умножение, уже интервала, в котором происходит усиление. Этот интервал с ростом входной мощности увеличивается.

Напряжение спирали, соответствующее максимуму мощности 3-й гармоники на выходе умножителя, не совпадает с напряжением, при котором максимально усиление первой половины лампы (рис. 4, а и 4, б).

На рис. 5 изображена зависимость мощности на выходе умножителя от напряжения на второй спирали, при двух значениях входной

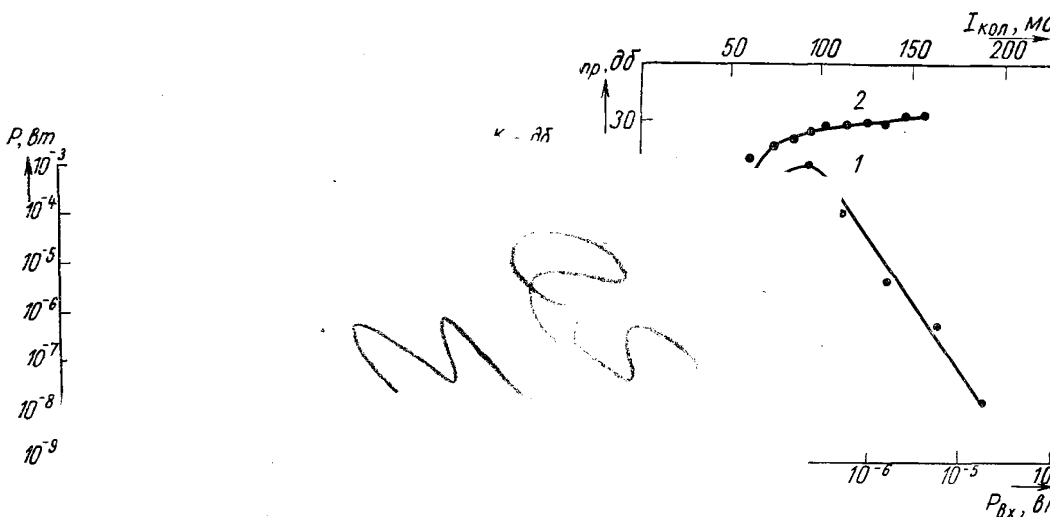


Рис. 5
зависимость
спирали: 1 — $P_{вх} = 10^{-6}$
3 — коэффициент усиления второй
да в зависимости от напряжения на вто-
рой спирали

преобразования умно-
жи от входной мощно-
спектора $P_{вх} = 10^{-7}$ вт

мощности основной частоты. Там же для сравнения приведен график коэффициента усиления (кривая 3) K_2 второй половины лампы при использовании ее в качестве усилителя. Для снятия этой кривой на вход 2-й половины лампы подавался сигнал от генератора стандартных сигналов трехсантиметрового диапазона мощностью 10^{-6} вт.

Из рисунка видно, что эффективное умножение происходит примерно в тех же пределах изменения напряжения на второй спирали, в которых вторая половина лампы усиливает. Для кривых 1 и 2 характерно наличие второго максимума при больших напряжениях на второй спирали.

На рис. 6 изображена зависимость коэффициента преобразования $K_{пр}$ (кривая 1) от входной мощности, снятая в оптимальном для умножения режиме, подобранном опытным путем.

Под коэффициентом преобразования понимается отношение мощности 3-й гармоники $P_{3з}$ на выходе умножителя к мощности сигнала основной частоты $P_{вх}$ на входе прибора.

Интересно отметить, что в отличие от коэффициента усиления в линейном режиме коэффициент преобразования при малых входных

мощностях не остается постоянным, а растет с ростом $P_{вх}$, что согласуется с результатами работы [1].

На том же рисунке приведена зависимость коэффициента преобразования от тока коллектора умножителя (кривая 2), снятая в оптимальном для умножения режиме.

С увеличением тока этот коэффициент растет. Однако начиная с (80—100) *мка* увеличение тока коллектора практически не влияет на величину $K_{пр}$.

С целью проверки диапазонности исследуемого умножителя были проведены измерения коэффициента преобразования в полосе частот. В диапазоне входных частот от 2900 до 3200 *мггц* коэффициент преобразования изменялся от 27 до 31 *дб*. Следует отметить, что обследованный диапазон частот был ограничен диапазоном спектр-анализатора трехсантиметрового диапазона. Действительная ширина рабочего диапазона умножителя, по-видимому, значительно больше.

Специальными измерениями было установлено, что максимальная величина мощности 3-й гармоники, получаемой на выходе умножителя, имеет тот же порядок, что и мощность, которую может отдать вторая половина в режиме усиления.

Во время эксперимента было подробно исследовано десять экземпляров умножительных ламп. Графики зависимости основных параметров от входной мощности и от напряжений на электродах, которые описывались выше, на всех лампах количественно совпадали.

Выводы

Экспериментально изучен двухкаскадный умножитель частоты с коэффициентом умножения, равным трем при входных частотах, лежащих в десятисантиметровом диапазоне. Умножитель обладает значительным коэффициентом преобразования (30 *дб*) в диапазоне входных частот 2900—3200 *мггц*.

Максимальная выходная мощность имеет тот же порядок, что и максимальная мощность, отдаваемая второй половиной лампы в режиме усиления.

Полученные результаты не являются оптимальными. Подбор оптимальной геометрии спиралей и электронного пучка, а также конструктивное усовершенствование умножителя приведут, по-видимому, к значительному улучшению его параметров.

Высокий коэффициент преобразования и широкий диапазон рабочих частот позволяют надеяться на то, что такой умножитель найдет применение в радиоэлектронной аппаратуре и в практике лабораторных исследований.

В заключение авторы выражают благодарность проф. С. Д. Гвоздоверу за предложенную тему и руководство работой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bates H. J., Ginston F. L. Proc IRE, 45, 7, 938, 1957.
2. Канавец В. И. «Изв. вузов», радиотехника, 3, № 5, 497, 1960.
3. Канавец В. И. «Радиотехника и электроника», 6, № 6, 954, 1961.

Поступила в редакцию
8. 7 1965 г.

Кафедра
радиотехники