

ВОЛНОВОДНЫЕ ГОЛОВКИ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СВЧ ГЕНЕРАТОРОВ

В настоящее время при создании радиоэлектронных систем различного назначения происходит массовый переход к использованию полупроводниковых генераторных СВЧ диодов. При этом, несмотря на уже имеющееся большое количество публикаций и серийный выпуск целой гаммы полупроводниковых генераторных СВЧ диодов, продолжается активное изучение как физических принципов их работы, так и особенностей построения СВЧ схем, сопрягаемых с такими диодами.

Для разработчиков радиоэлектронной аппаратуры особое значение приобретает решение схемотехнических вопросов, связанных с созданием диодной головки (в волноводном или коаксиальном варианте) или СВЧ структуры (в полосковом, микрополосковом или смешанном варианте). Результаты, приведенные в обзорной литературе [1–3], позволяют определить основные принципы построения таких устройств. Однако, поскольку в этих работах приводятся в основном данные по максимально достигнутым значениям различных параметров (КПД, выходная мощность, диапазон перестройки частоты, стабильность и др.), а на практике чаще всего необходимо некоторое оптимальное сочетание ряда характеристик, задача создания и изучения различных схем включения полупроводниковых генераторных диодов по-прежнему остается достаточно сложной. В то же время каждый конкретный случай решения такой задачи позволяет расширять возможности практического применения полупроводниковых СВЧ генераторов.

В данной работе приведены конструкции и результаты исследований волноводных диодных головок, которые могут быть использованы и как самостоятельные измерительные генераторы, и в высокостабильных СВЧ генераторах с системами автоматической подстройки частоты.

В качестве базовой конструкции была выбрана такая, в которой генераторный диод (в нашем случае диод Ганна) и диод-варактор для перестройки частоты размещались в одной плоскости в поперечном сечении стандартного волновода.

Первая задача, которую пришлось решать на начальном этапе разработки, – выбор эффективного шунта для развязки цепей питания и СВЧ части диодной головки. Были исследованы три варианта шунтирующих устройств. Первое устройство представляет собой отрезок коаксиальной линии, в которой включались неоднородности – четвертьволновые шлейфы (такие шунты предлагаются почти во всей обзорной литературе по полупроводниковым генераторам). Второе устройство описано в работе [4] и представляет собой переходный конденсатор типа КТП-6,8 нФ, включаемый в качестве емкостного шунта. Дополнительно во втором устройстве используется дроссельное соединение с поглотителем, улучшающее развязку по СВЧ сигналу. В третьем варианте устройство применяется только дроссельное соединение, в котором на расстоянии четверти длины волны от волновода включается поглощающая нагрузка.

Качество шунтирующих устройств проверялось по величине СВЧ излучения из коаксиальной части головки при подаче сигнала в волновод. При этом было обнаружено, что второе и третье устройства обеспечивают развязку на 20–40 дБ лучшую, чем первое (измерения производились при изменении частоты в пределах $\sim 1,5$ ГГц). Принцип использования конденсатора достаточно большой емкости, предлагаемый во втором устройстве, может быть реализован с помощью других типов малогабаритных конденсаторов, а также с помощью составного конденсатора из тонких проводящих пластин с тонкими диэлектрическими (слоистыми, например) прокладками между ними. Однако этот путь ведет к усложнению конструкции и технологии ее изготовления. К тому же, как выяснилось, большая длина шунтирующего устройства ведет к усилению зависимости режима работы генераторного диода от механических деформаций. В связи с этим в дальнейшем в исследовавшихся диодных головках использовалось устройство третьего типа.

Конструкция одной из исследовавшихся головок приведена на рис. 1. Генераторный диод 1 типа АА703Б включается по центру волновода 2, а варактор подключается с помощью петли связи 3, причем патрон 4, в котором размещается варакторный диод 5, может поступательно и вращательно перемещаться в цанговом зажиме 6, что позволяет изменять величину связи диода с колебательным контуром генератора. Механическая перестройка частоты осуществляется с помощью короткозамыкающего поршня.

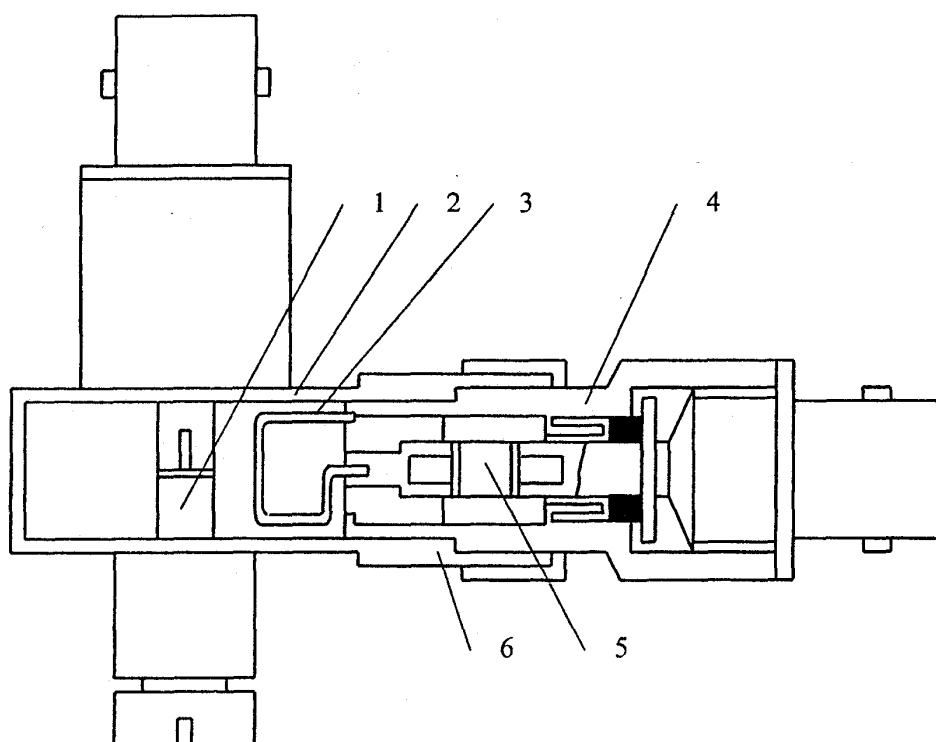


Рис.1

В ходе исследования диодной головки получены следующие результаты: диапазон механической перестройки частоты составил $\sim 1,5$ ГГц (перепад мощности выходного сигнала в диапазоне перестройки не превышает 10–15 дБ), диапазон электрической перестройки – ~ 300 МГц (диод ГА402Г), выходная мощность в пределах относительно линейного участка электрической перестройки изменялась примерно в два раза и составила при смещении на диоде ~ 2 В величину ~ 8 мВт, при смещении ~ 18 В – ~ 15 мВт. График зависимости частоты генерации от смещения на варакторном диоде показан на рис. 2. Крутизна перестройки меняется от ~ 50 МГц/В ($U = 0-3$ В) до $\sim 8-10$ МГц/В ($U = 3-18$ В). Зависимость диапазона электрической перестройки частоты ($U = 2-17$ В) от частоты механической настройки волноводного резонатора приведена на рис. 3.

При изучении влияния на параметры генератора положения плоскости петли патрона с варакторным диодом по отношению к диододержателю активного диода было обнаружено, что максимальная крутизна электрической перестройки частоты достигается при расположении плоскости петли под углом 30° к плоскости поперечного сечения волновода в месте расположения активного диода и при минимальном расстоянии петли от активного диода. При удалении петли с сохранением угла поворота уменьшается диапазон и крутизна электрической перестройки частоты. При изменении угла поворота меняется величина выходной мощности (в основном, в сторону уменьшения), уменьшается диапазон и крутизна электрической перестройки частоты.

Диодная головка (рис. 1) может быть использована как свип-генератор СВЧ диапазона для изучения характеристик различных СВЧ элементов. Для этого на активный диод подается с блока питания постоянное напряжение $\sim 8,5$ В ($I \sim 0,25-0,3$ А), а с выхода осциллографа – сигнал пилообразного напряжения на варакторный диод. Диодный генератор через развязывающее устройство подключается к волномеру, который, в свою очередь, – к исследуемому элементу. К выходу исследуемого элемента через ферритовый вентиль подсоединяется детекторная секция, сигнал с выхода которой поступает на вход осциллографа. Проведя с помощью волномера и осциллографа калибровку характеристик измерительного генератора, можно затем измерять амплитудно-частотные характеристики в достаточно широком диапазоне частот. При необходимости в измерительную цепь можно включать калиброванный аттенюатор. Достоинством данного устройства является то, что в нем, за исключением диодной головки, могут быть использованы стандартные серийно выпускаемые приборы и элементы.

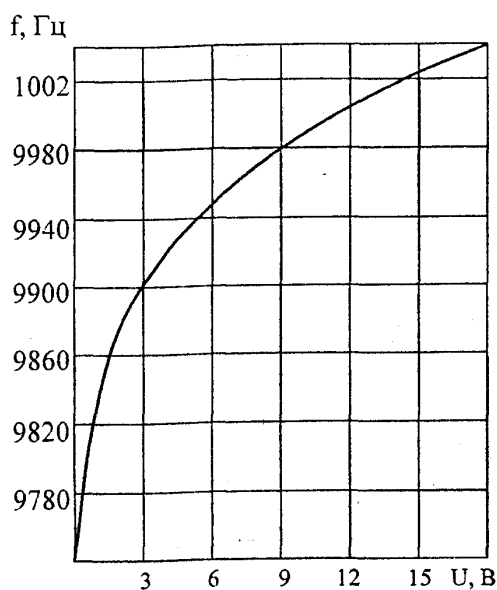


Рис.2

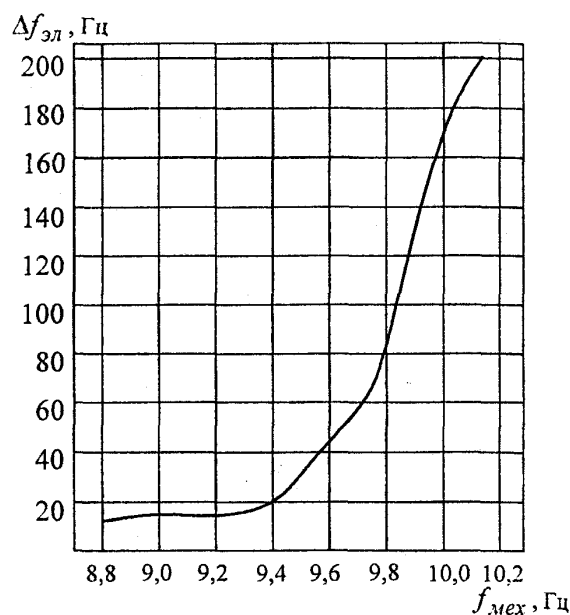


Рис.3

Следующим этапом совершенствования и расширения возможностей конструкции диодной головки, приведенной на рис. 1, явилось включение в нее симметрично еще одного варакторного диода и на основе этого создание диодного генератора с механической и двойной электрической перестройкой частоты. При этом диапазон механической перестройки частоты составил $\sim 1\text{--}1,2$ ГГц, а диапазон электрической перестройки частоты зависел от угла поворота плоскостей петель и их расстояния от активного диода и имел максимальное значение при угле $\sim 30^\circ$ и минимальном расстоянии от генераторного диода. Были измерены зависимости частоты генерации от напряжения смещения на диодах при расстоянии петель связи соответственно $\leq 1,0$ и $\sim 0,1$ мм от активного диода. Крутизна электрической перестройки менялась от $\sim 3\text{--}6$ МГц/В ($U = 0\text{--}3$ В) до $\sim 0,4\text{--}0,6$ МГц/В ($U = 3\text{--}18$ В) в первом случае и от $\sim 30\text{--}50$ МГц/В ($U = 0\text{--}3$ В) до $\sim 3\text{--}8$ МГц/В ($U = 3\text{--}18$ В) во втором. Выходная мощность сигнала достигала величины $\sim 15\text{--}30$ мВт для серии из 10 диодов АА703Б, включавшихся в диодную головку. Перепад мощности в диапазоне электрической перестройки не превышал 3 дБ, а в диапазоне механической перестройки $\sim 10\text{--}15$ дБ.

Диодные генераторы с двойным электрическим управлением частотой, а также с возможностью подбора необходимой крутизны перестройки частоты могут быть использованы для создания измерительных генераторов с линейной характеристикой электрической перестройки частоты в широком диапазоне.

На основе макета с петлевыми связями была проверена возможность создания диодной головки, в которой активный и варакторный диоды связаны с волноводом посредством петель. Однако такая конструкция диодной головки не позволила достичь параметров, полученных в предыдущих устройствах, ни по выходной мощности, ни по диапазонам перестройки при самом различном относительном положении петель связи. Также исследовалась диодная головка, у которой место включения петель связи варактора с волноводом было смещено относительно места включения активного диода на $\lambda_0/2$ в сторону короткозамыкающего поршня. В такой системе была получена более высокая выходная мощность ($\sim 20\text{--}30$ мВт), но меньшие диапазоны перестройки частоты ($\Delta f_{\text{мех}} \sim 600\text{--}800$ МГц, $\Delta f_{\text{эл}} \sim 10\text{--}20$ МГц).

Для исследовавшихся головок определялся температурный коэффициент частоты (ТКЧ) в диапазоне $+10\text{--}50^\circ\text{C}$. ТКЧ имел величину $\sim -(1\text{--}1,3) \cdot 10^{-4}$ град $^{-1}$ для всех типов головок. Учитывая, что диодные головки изготавливались из латуни, имеющей примерно такое же значение коэффициента линейного расширения, можно утверждать, что основной вклад в их ТКЧ вносит ТКЧ волноводного объемного резонатора.

Диодные головки исследовались также на долговременную стабильность их характеристик. Уход частоты за время непрерывной работы в течение 10 ч после 30-минутного прогрева не превышал нескольких МГц, а в течение нескольких суток непрерывной работы – менее 10 МГц. Изменений выходной мощности при этом не наблюдалось.

Список литературы: [1] Тараненко В.П., Коцержинский Б.А., Ткаченко Л.А., Мачусский Е.Е. Электрическая перестройка частоты твердотельных СВЧ генераторов варакторами // Изв. ВУЗов «Радиоэлектроника». – 1976. – Т.ХІХ. – №10. – С.5–15. [2] Царапкин Д.П. Генераторы СВЧ на диодах Ганна. – М.: Радио и связь, 1982. – 112 с. [3] Давыдова Н.С., Данюшевский Ю.З. Диодные генераторы и усилители СВЧ. – М.: Радио и связь, 1986. – 184 с. [4] Андроник К.И., Пудалов В.М. Высокостабильный генератор на диоде Ганна 3 см диапазона длин волн. // ПТЭ. – 1982. – № 1. – С.152–155.

Харьковский военный университет

Поступила в редколлегию 25.04.2000