

М.С. АЗОЯН

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ УМНОЖИТЕЛЕЙ И АВТОГЕНЕРАТОРОВ
ГАРМОНИК СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ**

В настоящее время в связи с развитием телекоммуникации появилась потребность в создании надежных и малогабаритных приборов сверхвысоких частот (СВЧ) с широкими функциональными возможностями. Указанные приборы особенно востребованы для создания авиационных, космических, СВЧ телекоммуникационных систем связи. В последние годы основой создания систем связи на СВЧ стали новые поколения приборов и устройств на твердом теле, выполняющие функции фильтрации, генерирования и усиления колебаний, стабилизации частоты, формирования и обработки сигналов. На основе применения твердотельных устройств (ТТУ) стали возможны: повышение КПД, скорости перестройки приемопередающей аппаратуры; снижение себестоимости серийного производства средств связи и расходов при их эксплуатации. Разработка современной аппаратуры связи требует решения проблем комплексного использования ТТУ в процессе создания активных фазированных антенных решеток, модернизации находящихся в эксплуатации средств связи и замены устаревших приборов и устройств более современными и эффективными.

Ключевые слова: твердотельные устройства, полосковые приборы, автогенератор гармоник, преобразователь, умножитель.

Введение. Наряду с развитием классических методов теории преобразования СВЧ сигналов на параметрических диодах создаются новые практические методы анализа, синтеза и расчёта разных вариантов [1,2]. Для расчета преобразователей СВЧ за основу принимаются экспериментально снятые вольт-амперные и вольт-кулоновые характеристики (ВАХ и ВКХ) нелинейного элемента. Задачи решаются путем определения нескольких производных от этих характеристик в рабочей точке, значения которых являются исходными.

Следует отметить, что работы по этой методике проводились для умножителей [3] и делителей [4] сигналов СВЧ, между тем эта методика может быть применена и для других систем СВЧ [5].

Разработке общей теории преобразования сигналов СВЧ посвящено достаточно много работ, результаты которых упрощают процесс анализа и расчёта, а также повышают точность и надежность преобразовательной системы [6].

Разработка транзисторных параметрических умножителей (ТПУ) и автогенераторов (ТАГ) СВЧ. На основе теоретических работ [4,7] были разработаны и исследованы действующие макеты миниатюрных полосковых ТПУ и ТАГ на германиевых СВЧ транзисторах ГТ329А, ГТ330Д, ГТ612 и ГТ330Ж. Предварительный расчет, результаты которого для удвоителей частоты $0,5 \text{ ГГц}$ представлены в виде графиков на рис. 1, показал, что умножители на транзисторах ГТ330Д в этом диапазоне частот гораздо менее эффективны, чем на транзисторах ГТ329А, что также подтвердилось при обследовании экспериментальных макетов ТПУ и ТАГ.

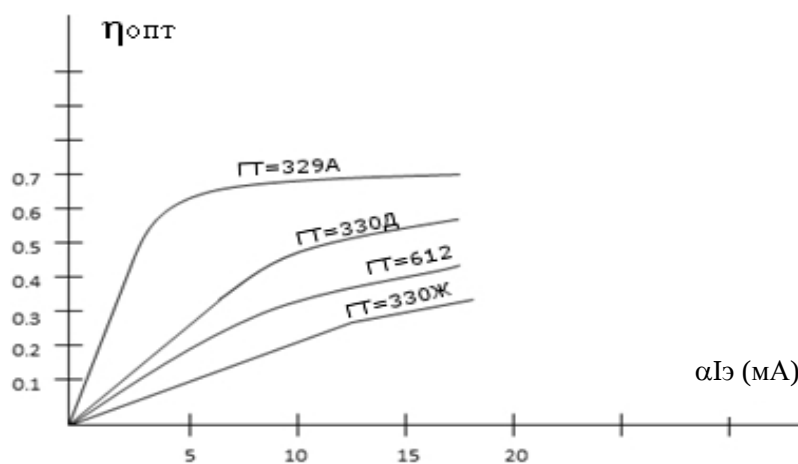


Рис. 1. Расчетные характеристики коллекторной цепи

Экспериментальные макеты были выполнены на полосковых симметричных линиях. В качестве диэлектрика использовались платы титанированного полистирола марки ПТ-3. Макеты помещались в плоские прямоугольные дюралюминиевые корпуса. Вводы и выводы энергии сигналов осуществлялись через коаксиально-полосковые переходы (КПП), волновое сопротивление которых выбрано по стандарту (50 Ом). Питание макетов обеспечивал стабилизированный источник с плавной регулировкой напряжения от 0 до 30 В.

На рис. 2 и 3 показаны схемы полосковых ТАГ на транзисторах ГТ329А и ГТ330Д.

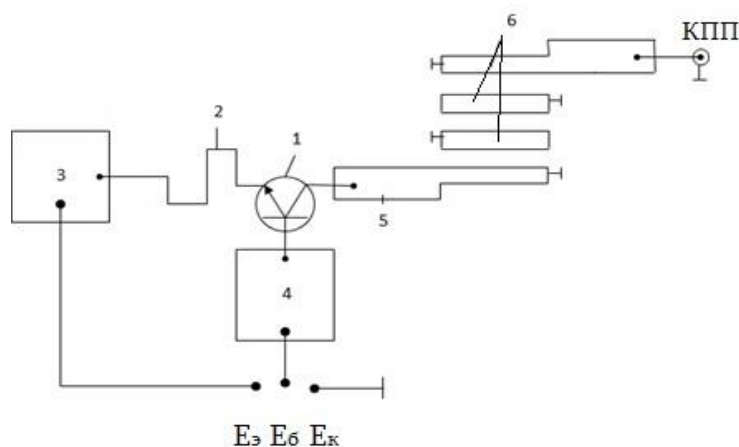


Рис. 2. Схема макета ТАГ №1

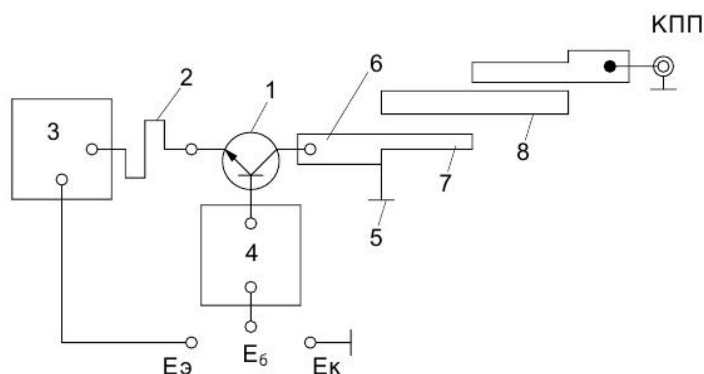


Рис. 3. Схема макета ТАГ №2

ТАГ №1, схема которого изображена на рис. 2, состоит из транзистора 1, к эмиттеру которого подсоединен дроссель 2 с емкостью 3. К базе транзистора присоединена блокировочная емкость 4. С резонатором 5 связаны резонаторы 6, образующие фильтр гармоник. Таким образом, автогенератор гармоник эквивалентен автогенератору основной частоты с общей базой, состоящему из элементов 1-5, и последовательно с ним включенному умножителю на нелинейной емкости коллекторного перехода, состоящему из элементов 1,4,5,6.

Автогенератор, изображенный на рис. 3, отличается тем, что резонатор 5 в коллекторной цепи заземлен индуктивным штырем 5. При этом отрезок линии 6 образует резонансный контур основной частоты генератора, а разомкнутый отрезок линии 7, связанный с основным контуром генератора индуктивным штырем 5, образует четвертьволновой направленный ответвитель, через который возбуждается резонатор 8.

Если вблизи заземляющего индуктивного штыря 5 находится узел СВЧ поля основной частоты и гармоники, то на разомкнутом конце отрезка линии 7 возникает пучность СВЧ поля выделяемой гармоники, так как разомкнутый конец линии 7 расположен на расстоянии, примерно равном четверти длины волны выделяемой гармоники от короткозамкнутой индуктивности 5. В этом случае выполняется условие возбуждения резонатора гармоники 8, с которого затем ее сигнал снимается через КПП.

Результаты экспериментального исследования генераторов второй гармоники ТАГ1 и ТАГ2 показаны соответственно на рис. 4 и 5, где нанесены семейства зависимостей выходной мощности и частоты $f_{\text{вых}}$ от напряжения на коллекторе при различных токах через эмиттерный переход транзистора. Как видно из рисунков, выходной мощности, отдаваемой описываемыми ТАГ, достаточно для питания смесителей нескольких приемных каналов. Значения напряжений и токов при этом значительно ниже допустимых для этого типа транзистора, что обеспечивает высокую надежность описываемых макетов. Энергетические и частотные характеристики двух вариантов сняты экспериментально.

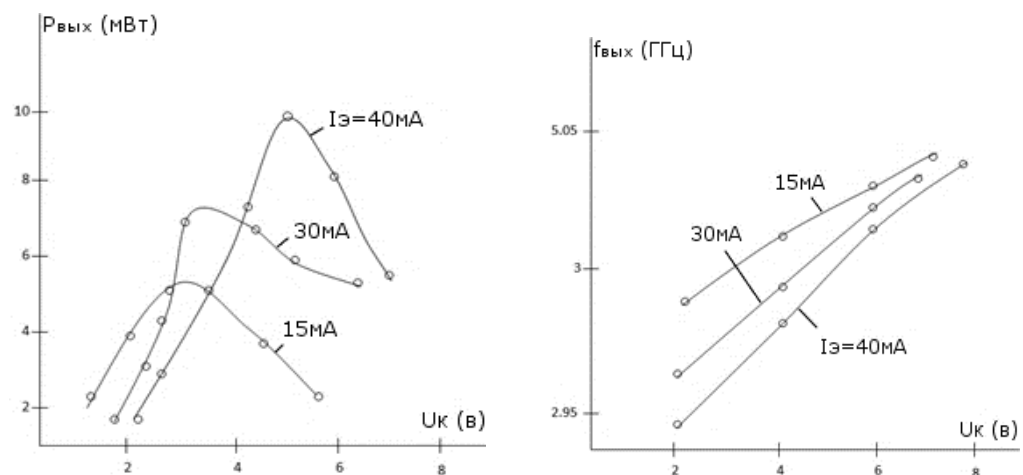


Рис. 4. Экспериментальные характеристики ТАГ №1

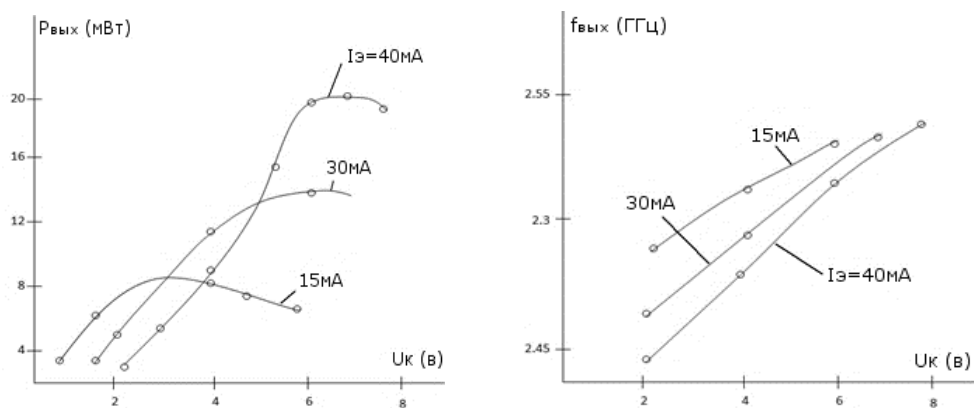


Рис. 5. Экспериментальные характеристики ТАГ №2

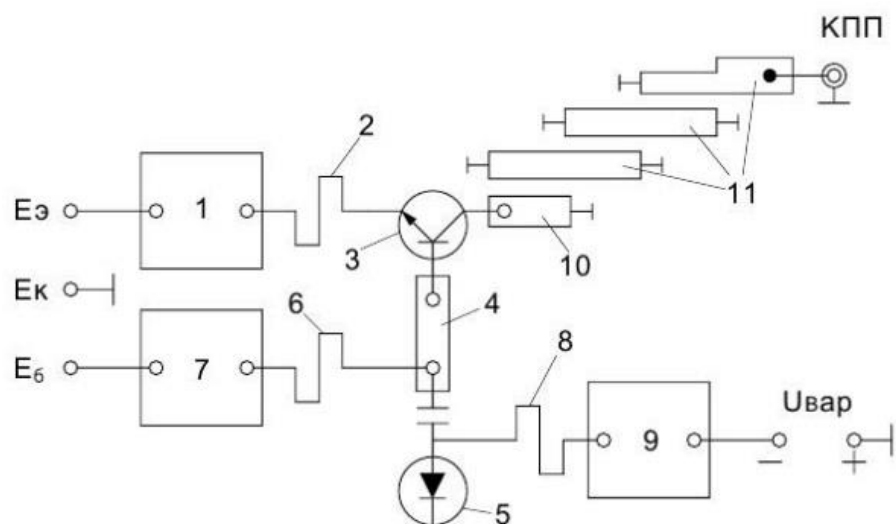


Рис. 6. ТАГ с электронной перестройкой частоты

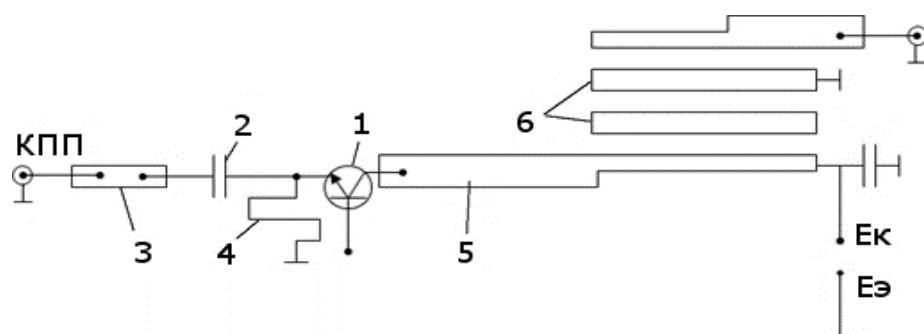


Рис. 7. Схема макета ТИУ №1

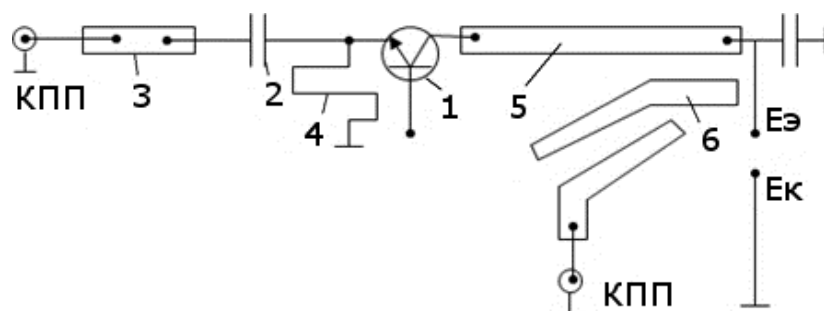


Рис. 8. Схема макета ТПУ №2

Особый интерес представляют ТАГ с электронной перестройкой частоты, которые могут быть использованы в перестраиваемых СВЧ приемниках и в системах с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ). На рис. 6 изображена схема ТАГ с электронной перестройкой частоты. Главным его отличительным признаком является наличие в цепи коллектора транзистора 3 полоскового фильтра гармоник 11, относительная полоса прозрачности которого равна полосе электронной перестройки автогенератора, образованного элементами 1...10. Назначение элементов схемы: 1-2, 6-7, 8-9 - цепи питания, отрезок линии, 4 - индуктивность цепи базы, 5 - варикап для перестройки. Описываемый ТАГ эквивалентен автогенератору основной частоты с электронной перестройкой, выполненному по схеме с общим коллектором, и последовательно с ним включенному широкополосному умножителю на коллекторной емкости транзистора.

Схематическое изображение конструкции макета 1 ТПУ дано на рис. 7. Устройство коллекторной цепи ТПУ, состоящего из резонаторов 5,6, аналогично устройству коллекторной цепи ТАГ, изображенного на рис. 2. Входной сигнал подается на эмиттерный переход транзистора 1 через разделительную емкость 2 по входной полосковой линии 3. Дроссель 4 соединяет по постоянному току цепь эмиттера и базы, обеспечивая нулевое постоянное смещение на эмиттерном переходе.

Схематическое изображение конструкции макета 2 ТПУ представлено на рис. 8. Назначение и конструкция элементов 1,2,3,4,5 те же, что и у макета 1. Отличаются макеты конструкцией резонансной системы 2, которая образована линией 5 и отрезком полосковой линии 6, являющимся резонатором, настроенным на частоту выделяемой гармоники. Конструктивно резонансная система макета 2 проще, однако она дает на выходе уровень паразитных гармоник несколько больший, чем у макета 1.

Несмотря на то, что такая методика определения проводимости пассивных потерь коллекторного перехода СВЧ транзистора слишком проста, однако полную

величину $r'_B c_k$, представленную в табл. 1 и 2, можно все-таки использовать, если при дальнейшем уточнении разделить ее на составляющие, которые могут быть либо измерены непосредственно, либо определены путем пересчета к известным геометрическим размерам чипа.

Таблица 1

Транзисторы ГТ329 (А, Б, В)						
Справочные параметры	Обозн. (ед.изм.)	Норма групп			Реж. исп.	
		А	Б	В	$U_{кб}(В)$	$f (Гц)$
Постоянная времени цепи обратной связи	$r'_B c_k$ (пс)	15	30	20	5	$3 \cdot 10^6$
Емкость коллектора	c_k (пФ)	2,5	3	3	5	$3 \cdot 10^6$
Сопротивление базы	r'_B (Ом)	6	10	6,75	5	$3 \cdot 10^6$

Таблица 2

Транзисторы ГТ330 (А, Б)					
Справочные параметры	Обозн.(ед.изм.)	Норма групп		Реж. исп.	
		А	Б	$U_{кб}(В)$	$f (Гц)$
Постоянная времени цепи обратной связи	$r'_B c_k$ (пс)	30	50	5	$3 \cdot 10^6$
Емкость коллектора	c_k (пФ)	3	3	5	$3 \cdot 10^6$
Сопротивление базы	r'_B (Ом)	10	16,5	5	$3 \cdot 10^6$

Заключение. В результате исследований спектра выходного колебания ТПУ установлено, что при рассмотренных кратностях умножения уровни входной частоты и паразитных гармоник не превышают – 20 дБ, что достаточно для большинства практических применений.

Полученные результаты показали, что ТПУ и ТАГ можно применять на маломощных транзисторах в качестве простых и миниатюрных гетеродинов приемных и передающих устройств дециметрового диапазона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Азоян М.С.** Вывод основных соотношений для полупроводникового параметрического делителя СВЧ // Вестник ГИУА (Политехник): Информационные технологии, электроника, радиотехника.- 2015.- N1.-С.91-97.
2. **Азоян М.С., Толоманенко А.Ф.** Исследование транзисторного параметрического делителя СВЧ // Докл. на научно-техническом семинаре: “СВЧ элементы и узлы радио-приемных устройств”.- М., май,1977.

3. **Азоян М.С.** Машинный анализ АЧХ микроминиатюрных СВЧ параметрических делителей частоты // Докл. на семинаре “Новое в разработках СВЧ устройств”.- Киев, май 1978.
4. **Мелихов В.С., Кологривов В.А.** Метод анализа и расчета широкополосного преобразователя частоты в режиме сильных гармонических воздействий // Радиотехника.- 1999.- № 1. - С.38-41.
5. **Nicholas A. Estep, Dimitrios L. Jacson Soric and Andrea Alu.** Magnetic free non Reciprocity and isolation based on parametrically modulated coupled-rezonator loops // Nature Physics. -2014.- Macmillan Publishrs Limited.- 1-5.
6. **Уткин Г.М.** Теория двухконтурных параметрических преобразователей и генераторов // Радиотехника и Электроника.- 1960.- №11. – С. 8-13.
7. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи / **Л.А. Гасанов и др.**- М.: Радио и связь, 1988. - 288 с.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 10.10.2016.

Մ.Ս. ԱԶՈՅԱՆ

ԳԵՐԲԱՐՁՐ ՀԱՃԱՆՈՒԹՅԱՄԲ ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴՍՅՈՒՆ ԲԱԶՄԱՊԱՏԿԻՉՆԵՐԻ ԵՎ ՀԱՐՄՈՆԻԿԱՅԻ ԱՎՏՈԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ներկա ժամանակում հեռահաղորդակցության զարգացման հետևանքով անհրաժեշտություն է առաջացել ստեղծել գործառական լայն հնարավորություններով փոքրաչափ և հուսալի գերբարձր հաճախությամբ (ԳԲՀ) սարքեր: Այդ սարքերը հատկապես անհրաժեշտ են ավիացիոն, տիեզերական և կապի ԳԲՀ հեռահաղորդակցական համակարգերում, որտեղ վերջին տարիներին ստեղծվեցին նոր սերնդի պինդարմային ֆունկցիոնալ գեներատորներ, ուժեղարարներ, հաճախության կայունարարներ, ազդանշանի մշակման և ձևավորման սարքեր: Վերջինների կիրառմամբ բարելավվեց կապի հաղորդող - ընդունող սարքավորման վերակարգավորման արագությունը, մեծացավ դրանց օ.գ.գ.-ն, նվազեցին զանգվածային արտադրության ինքնարժեքը և շահագործման ծախսերը: Ժամանակակից կապի համակարգերի սարքավորումների մշակումը պահանջում է լուծել պինդարմային սարքավորումների կոմպլեքս օգտագործման հիմնախնդիրը ակտիվ փուլավորված անտենային ցանցերի ստեղծման ընթացքում, շահագործման մեջ գտնվող կապի միջոցների արդիականացումը, հնացած սարքավորումների փոխարինումը ժամանակակից, ավելի արդյունավետ տարբերակներով:

Առանցքային բառեր. պինդարմային մշակումներ, շերտային սարքեր, հարմոնիկայի ավտոգեներատոր, ձևափոխիչ, բազմապատկիչ:

M.S. AZOYAN

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SEMICONDUCTOR MULTIPLIERS,
AND MICROWAVE AUTOGENERATORS HARMONICS OF ULTRA - HIGH
FREQUENCIES**

At present, in connection with the development of telecommunication there is a need to create reliable and compact devices of ultrahigh frequencies (UHF) with broad functionality. Therefore, the problem of research and development of both new and well-known instruments with a view to their application in a number of non-conventional microwave systems becomes very urgent. The mentioned devices are especially in demand for creating aviation, aerospace, telecommunication microwave communication systems. In recent years has become a new generation of instruments and devices of solid performing filtering functions of generation and amplification oscillation frequency stabilization, formation and signal processing, basis for creating communication systems at microwave frequencies on the basis of solid-state devices (TTU), an increased efficiency, speed adjustment transceiver equipment; reduce the cost of mass production of communications equipment and costs of their operation have become possible. The development of modern communications equipment requires to solve the problems of complex use of TTU during the creation of the active phased array antennae, upgrading the communication facilities in operation, replacement of obsolete equipment, and making modern appliances more efficient.

Keywords: solid, strip, harmonic autogenerator, converter, multiplier.