

УДК 621.373.52

Г.Г. Гошин, А.А. Трубачев

Экспериментальное исследование автодина на диоде Ганна

Представлены результаты экспериментального исследования параметров автодинного устройства на диоде Ганна трёхсантиметрового диапазона длин волн, используемого в качестве генератора и преобразователя частоты. Приведены частотные зависимости коэффициентов передачи и шума автодина, измеренные при изменении режима работы диода по постоянному току.

Ключевые слова: автодин, диод Ганна, коэффициент шума, коэффициент усиления.

doi: 10.21293/1818-0442-2016-19-2-11-13

Применение автодинных приёмопередающих устройств является предпочтительным при создании малогабаритных систем ближней радиолокации, так как их использование позволяет значительно упростить конструкцию сверхвысокочастотного (СВЧ) тракта. Простота конструкции достигается благодаря тому, что в автогенераторе СВЧ-колебаний одновременно совмещаются функции собственно генератора электромагнитных волн, усилителя и детектора отражённого излучения. Нелинейность активного элемента генератора позволяет без развязывающих и дополнительных устройств выделять полезный сигнал [1].

Так как автодин является приёмопередающим устройством (генераторно-преобразовательным), экспериментальное исследование, которому посвящена данная работа, проходило в два этапа. На первом этапе фиксировались генераторные (передающие) характеристики автодина (частота, мощность и спектр выходного сигнала), на втором – приёмные (преобразовательные) коэффициент шума (КШ) и коэффициент усиления (КУ). Для проведения первой части исследований использовалась экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1.

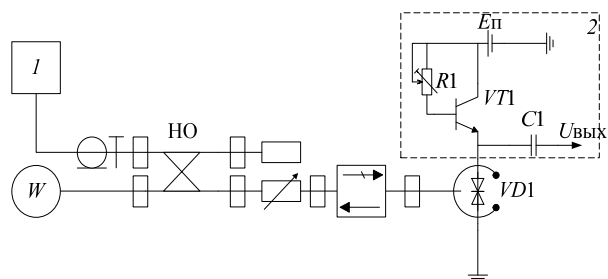


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования выходных характеристик автодина

Диод Ганна $VD1$ типа AA736 был помещён в волноводный резонатор с сечением выходного волновода 23 на 10 миллиметров с возможностью регулировки согласования импедансов диода и нагрузки [2, 3] для обеспечения оптимального режима работы. Схема регистрации и питания 2 от источника постоянного напряжения обеспечивает необходимое напряжение питания диода Ганна и преобразование

переменного тока, вызванного внешним воздействием. в напряжение за счет комплексного входного сопротивления биполярного транзистора $VT1$ (КТ913Б) со стороны эмиттера [4]. Значение напряжения смещения на диоде регулируется базовым током, устанавливаемым сопротивлением подстроечного резистора $R1$. При подаче питания на диод $VD1$ в нем возникают колебания СВЧ-тока (эффект Ганна) [5]. Волноводный выход автодина подключен к вентиллю, который не пропускает в резонатор отражённые от нагрузки волны, улучшая согласование. Выход вентилля подключен к переменному поляризованному аттенуатору (ДЗ-33А), на котором устанавливается необходимое затухание (для недопущения критического уровня мощности СВЧ-сигнала на входы измерительных приборов). Аттенуатор соединен с направленным ответвителем (НО), который обеспечивает ответвление части сигнала на вход анализатора спектра I (Agilent E4408B) и термисторного измерителя мощности W (МЗ-21А с преобразователем М5-42). На рис. 2 изображён спектр измеренного выходного сигнала автодина.

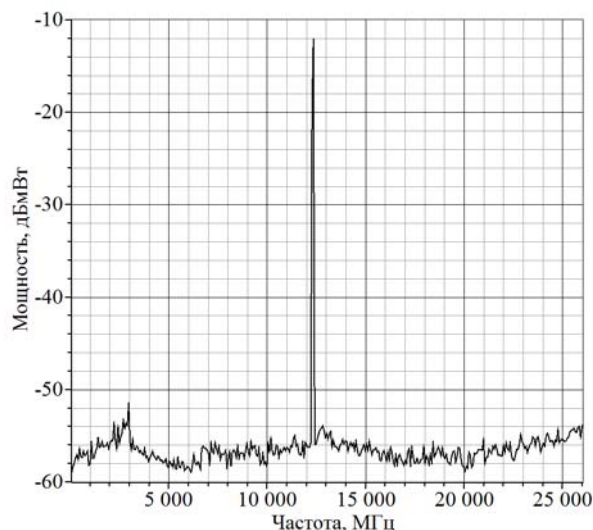


Рис. 2. Спектр сигнала на выходе автодина, измеренный в диапазоне от 10 МГц до 26 ГГц

Как следует из графика на рис. 2, частота выходного сигнала равна $f_0 = 12,3$ ГГц. Анализ спектра проводился также в диапазоне от 10 МГц до 26 ГГц.

В спектре выходного сигнала не наблюдается вторая гармоника сигнала. Затем были измерены мощность и частота выходного сигнала автодина при изменении напряжения на диоде Ганна. Результаты исследования представлены на рис. 3.

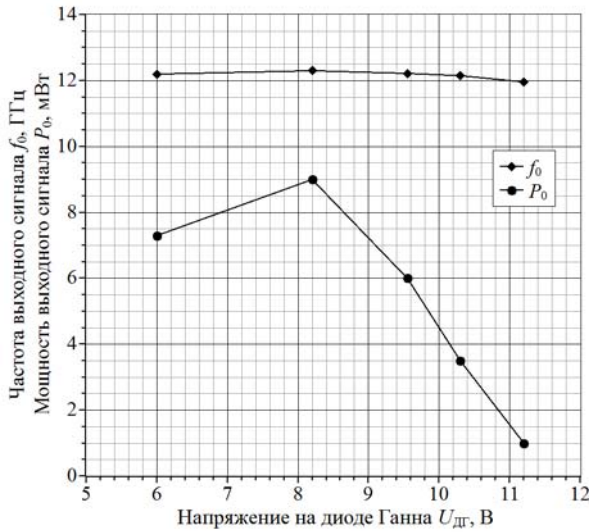


Рис. 3. График зависимостей мощности P_0 и частоты f_0 выходного сигнала автодина

Как видно из графика на рис. 3, оптимальным, с точки зрения максимальной выходной мощности, является напряжение на диоде Ганна $U_{дг} = 8,2$ В, при котором выходная мощность составляет около 9 мВт. Изменение напряжения на диоде задавалось в пределах от 0 до 12 В, однако при значениях ниже 6 В наблюдалось нарушение формы спектра выходного сигнала, а при увеличении более 11,5 В – падение мощности до нуля. Поэтому исследуемый диапазон был выбран в пределах $U_{дг}$ от 6,2 до 11,2 В.

Для оценки работы параметров автодина в качестве СВЧ-преобразователя частоты было проведено исследование зависимостей КШ и КУ. Для этого была использована экспериментальная установка, схема которой изображена на рис. 4.

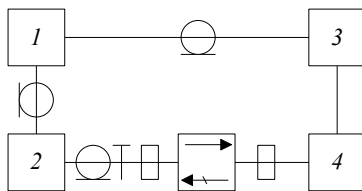


Рис. 4. Схема экспериментальной установки для исследования параметров автодина в качестве преобразователя

Измеритель коэффициента шума (ИКШ) 1 (Х5М-04) через коаксиальный кабель подключен к генератору шума 2 (Agilent 346С), который генерирует шумовой сигнал в диапазоне частот от 10 МГц до 26 ГГц. Для предотвращения попадания мощности СВЧ-сигнала с выхода автодина 4 в генератор шума между ними включен вентиль. Схема регистрации автодинного сигнала 3 преобразует изменения среднего тока, протекающего в цепи питания диода, в переменное напряжение (преобразованный сигнал

промежуточной частоты), который поступает на вход ИКШ. Измерение КШ и КУ автодина проводилось в диапазоне промежуточных частот от 10 до 200 МГц. На рис. 5 и 6 представлены графики зависимостей КШ и КУ от частоты при различных значениях напряжения на диоде Ганна $U_{дг}$. Изменение напряжения $U_{дг}$ находилось в пределах от 6,2 до 11,2 В с интервалом 1 В, при этом при изменении от 8,2 до 11,2 не наблюдалось значительного изменения характеристик, поэтому промежуточные графики на рисунках не приведены.

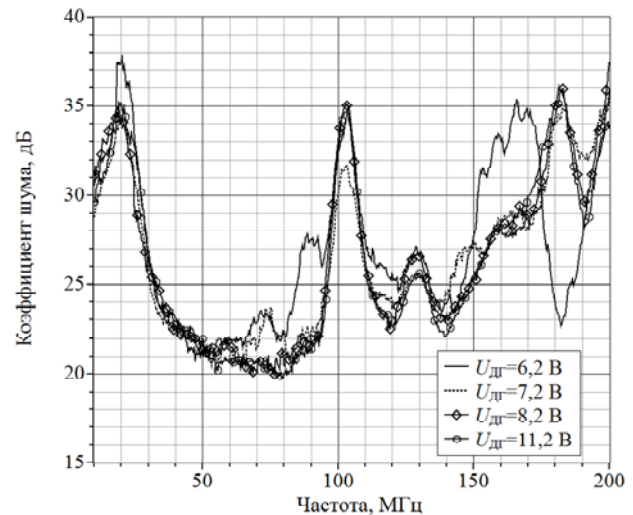


Рис. 5. Графики зависимостей коэффициента шума автодина при различных значениях напряжения $U_{дг}$

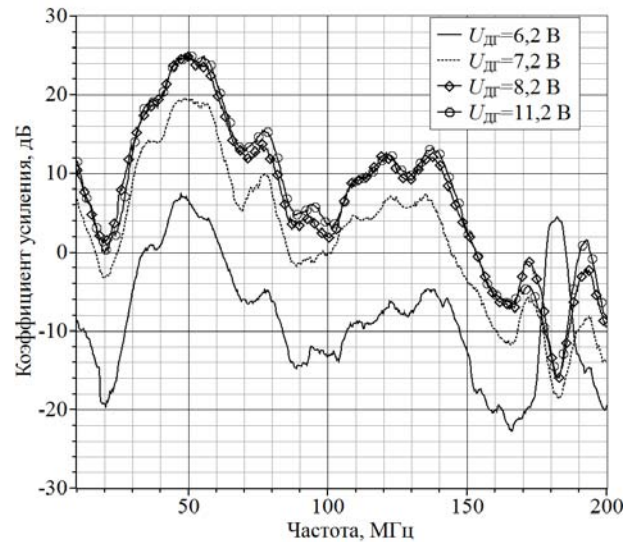


Рис. 6. Графики зависимостей коэффициента усиления автодина при различных значениях напряжения $U_{дг}$

Как видно из графиков на рис. 5, увеличение напряжения $U_{дг}$ с 6,2 до 8,2 В приводит к уменьшению КШ в измеряемой полосе частот. Следует отметить, что при увеличении напряжения $U_{дг}$ от 8,2 до 11,2 В изменение характеристик практически не происходит и наблюдается явно выраженный минимум КШ в диапазоне промежуточных частот от 50 до 90 МГц. Значение КШ в этой полосе не превышает 22 дБ. Анализируя графики зависимостей КУ от

частоты, приведённые на рис. 6, можно сделать вывод, что при увеличении $U_{дг}$ от 6,2 до 8,2 В КУ автодина возрастает во всем исследуемом диапазоне частот. При дальнейшем увеличении $U_{дг}$ до 11,2 В характеристика КУ практически не меняется. Стоит отметить, что при напряжениях на диоде Ганна от 8,2 до 11,2 В коэффициент усиления в полосе частот от 10 до 150 МГц принимает строго положительные значения и имеет максимальное значение 25 дБ на частоте 50 МГц, на которой также наблюдается минимум коэффициента шума.

Сравнивая графики на рис. 3, 5 и 6, можно сделать вывод, что изменение напряжения $U_{дг}$ от 8,2 до 11,2 В приводит к значительному изменению мощности генерируемого сигнала (от 9 до 1 мВт), однако не влияет на ход частотных зависимостей КШ и КУ.

Результаты проведенных исследований позволяют проводить настройку автодина в зависимости от конкретного применения и проводить расчёты на системном уровне для оценки энергетических параметров устройств на основе автодина.

Литература

1. Автодинные мини-радары КВЧ-диапазона / С.Д. Воторопин, В.Я. Носков // 15-я Междунар. Крым. конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМико'-2005): матер. конф. – Севастополь: Вебер, 2005. – С. 937–938.
2. Мощный импульсный СВЧ-генераторный модуль / А.А. Титов, В.П. Пушкарев, Б.И. Авдоченко // 19-я Междунар. Крым. конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМико'-2009). Севастополь: матер. конф. – Севастополь: Вебер, 2009. – С. 87–88.
3. Проектирование резонансной системы генератора СВЧ-колебаний на диоде Ганна двухсантиметрового диа-

пазона длин волн / А.А. Трубачев, В.А. Кочумеев, И.В. Шухлов // Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления»: матер. конф. Томск, 10–11 ноября 2012 г. – Томск: В-Спектр, 2012. – С. 78–81.

4. Носков В.Я. Регистрация автодинного сигнала в цепи питания генераторов на полупроводниковых диодах СВЧ / В.Я. Носков, С.М. Смольский // Техника и приборы СВЧ. – 2009. – № 1. – С. 14–26.

5. Левинштейн М.Е. Эффект Ганна / М.Е. Левинштейн, Ю.К. Пожела, М.С. Шур. – М.: Сов. радио, 1975. – 288 с.

Гошин Геннадий Георгиевич

Д-р физ.-мат. наук, профессор каф. сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧКР) ТУСУРа
Тел.: +7 (382-2) 70-15-18
Эл. почта: goshingg@svch.tusur.ru

Трубачев Анатолий Андреевич

Ассистент каф. СВЧКР
Тел.: +7 (382-2) 70-15-18
Эл. почта: trubachevaa@gmail.com

Goshin G.G., Trubachev A.A.

Experimental research of autodyne based on Gunn diode

The article presents the results of experimental research of the autodyne device's parameters based on Gunn diode. Device used as oscillator and frequency converter working in three-centimeter wavelength range.

Keywords: autodyne, Gunn diode, noise figure, gain.