

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра общей физики

«Исследование СВЧ-генератора на диоде Ганна»

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 431 группы

Направления 03.03.02 «Физика»

Пигачева Владислава Дмитриевича

Научный руководитель,

д.т.н., профессор

_____ А. Л. Хвалин

Зав. кафедрой общей физики,
д. ф.-м. н., профессор



А. А. Игнатъев

Саратов 2020

Введение

Радиотехнические системы СВЧ диапазона имеют необычайно широкую область применения.

Радикальные перемены, произошедшие в элементной базе радиоэлектронных устройств, в последнее десятилетие коснулись и СВЧ устройств. На смену традиционным электровакуумным приборам пришли полупроводниковые приборы. По существу, радиопередатчики повышенной мощности остались единственными радиотехническими устройствами, в которых находят применение как электровакуумные, так и полупроводниковые приборы.

Целью работы является создание конструкции и исследование основных характеристик генератора. Для достижения цели была поставлена задача, которая заключается в сборке макета генератора и установки, в том числе и проведение измерений.

Актуальность выпускной работы связана с широким применением автогенераторов СВЧ. Область применения таких полупроводниковых приборов - радиотехнические системы СВЧ различного назначения, а именно радиопередатчики наземных и спутниковых систем связи, радиолокационные системы, радионавигационные приборы СВЧ, самолетные и корабельные системы радиосвязи, радиомаяки, измерительная радиоаппаратура и гетеродины радиоприемных устройств.

Применение полупроводниковых приборов позволят воспользоваться методами микроэлектроники при изготовлении различных устройств и элементов, входящих в генераторный и усилительные системы СВЧ, тем самым позволяют существенно уменьшить массу и габаритные размеры радиотехнических систем СВЧ.

Физические основы работы генераторов СВЧ на диодах Ганна

Устройство и принцип действия диода Ганна

Диод Ганна представляет собой пластинку полупроводникового материала длиной 10 – 12 мм с омическими контактами на двух противоположных плоскостях. Для изготовления диодов Ганна применяют полупроводниковые материалы с электронной электропроводностью, для которых характерно наличие двух подзон в зоне проводимости, причём подвижность электронов в нижней подзоне выше, чем в верхней.

Диоды Ганна изготавливаются как из монокристаллических полупроводников, так и на основе эпитаксиальных пленок с использованием планарной технологии (рис. 1).

Активная часть диода Ганна обычно имеет длину $l = 1 - 100$ мкм и концентрацию легирующих донорных примесей $n^- = 2 \times 10^{14} - 2 \times 10^{16}$ см⁻³. Слои полупроводника с повышенной концентрацией примесей n^{++} и $n^+ = 10^{18} - 10^{19}$ см⁻³ служат для создания омических контактов.

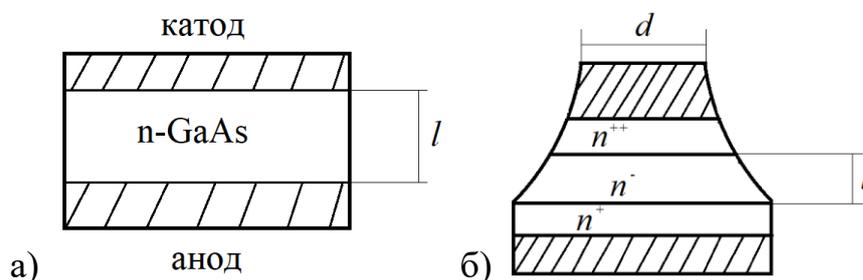


Рис. 1. а) монокристаллический диод, б) мезадиод на основе эпитаксиальной пленки.

Физические основы работы диода Ганна

Объёмный эффект в диоде Ганна обусловлен не какими-то специальными конструктивными решениями, а физическими свойствами исходного полупроводника, имеющего 2 подзоны в зоне проводимости с различной подвижностью носителей заряда в них. Эта особенность позволяет при определённой напряженности электрического поля получать отрицательную динамическую подвижность носителей заряда, т. е. обеспечить условия генерации колебаний.

На рисунке 2 приведена структура энергетических зон в зависимости дрейфовой скорости.

Энергетический зазор между верхним уровнем нижней подзоны и нижним уровнем верхней подзоны для GaAs составляет $\Delta W = 0,36$ эВ. Подвижность носителей в верхней подзоне μ_2 для GaAs примерно в 50 раз меньше, чем в нижней μ_1 .

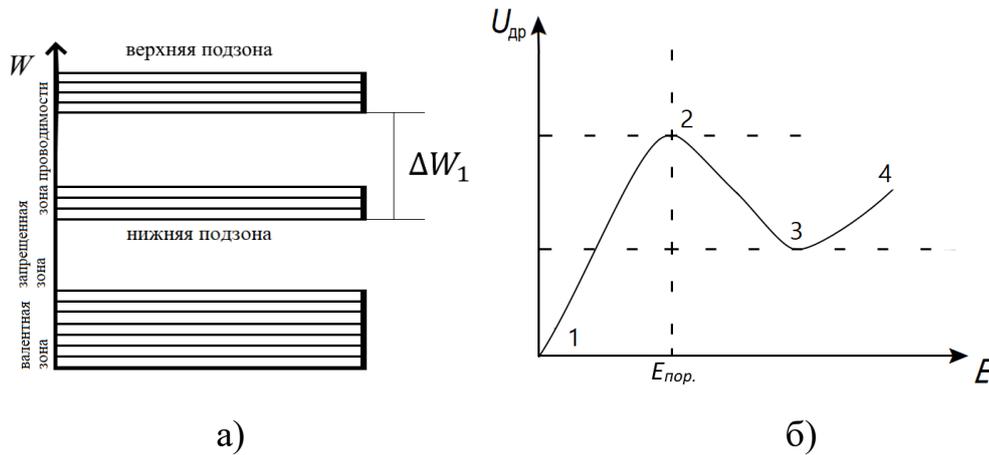


Рис. 2. а – энергетические зоны GaAs; б – зависимость дрейфовой скорости от напряженности электрического поля.

Участок 2 – 3 на рис. 2(б) соответствует отрицательной проводимости. При дальнейшем увеличении напряженности поля дрейфовая скорость растет незначительно (участок 3 – 4) оставаясь примерно равной 10^7 см/с. Достигается насыщение дрейфовой скорости.

Параметры диода Ганна

К основным параметрам диода Ганна относятся:

- концентрация примесей в активной области – n_0
- подвижность электронов в слабом электрическом поле - μ_n
(то есть, при напряжении на диоде меньше порогового),
- длина активной области - l
- площадь контакта - $A = \pi d^2/4$
- пороговое напряжение - $U_{пор}$
- пороговый ток - $i_{пор}$

- сопротивление в слабом поле - $R_0 = U_{\text{пор}}/i_{\text{пор}}$

- статическая емкость диода - $C_0 = \epsilon A/l$

Электрические параметры диода Ганна $U_{\text{пор}}$, $i_{\text{пор}}$, R_0 определяются по статической вольт-амперной характеристике (рис. 3).

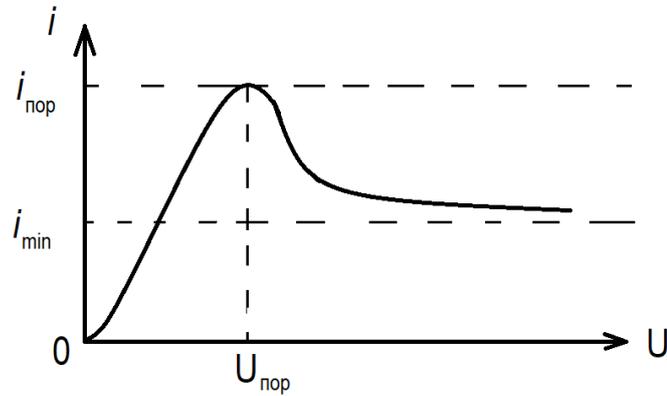


Рис. 3. Статическая вольт-амперная характеристика диода Ганна

СВЧ - автогенераторы на диодах Ганна

Конструкция диодных автогенераторов

В конструкциях, приведенных на рис. 4 (а, г) в качестве резонатора используется закороченные на одном конце отрезки волновода прямоугольного сечения.

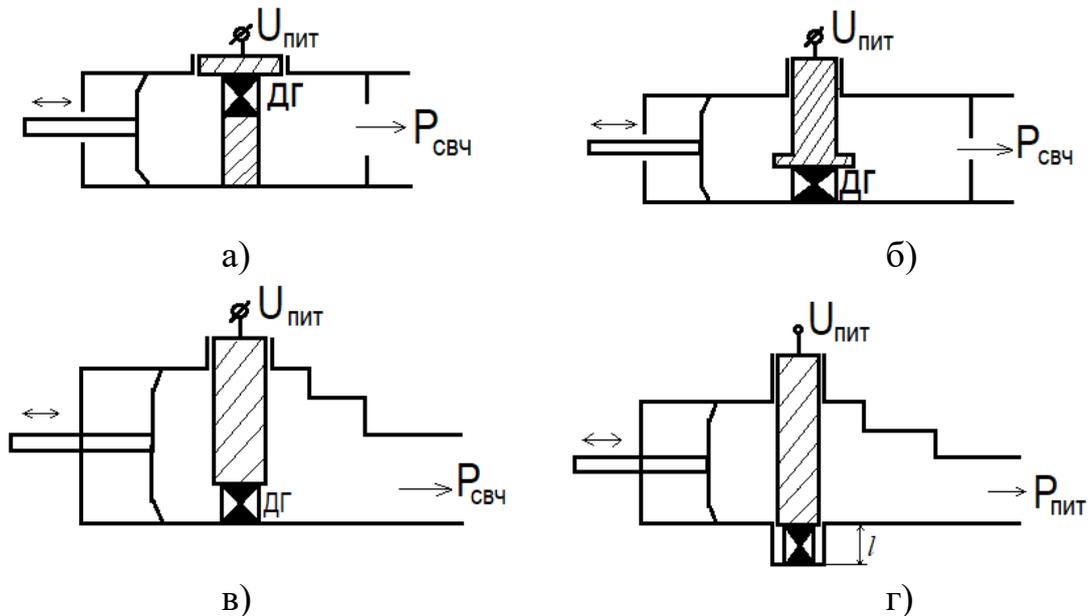


Рис. 4. Конструктивные варианты волноводных автогенераторов: а, б, в, г.

При проектировании автогенератора наиболее сложным является согласование сравнительно низкоомного диода с линиями передачи,

имеющими волновое сопротивление, порядка десятков и сотен ом. В конструкциях волноводного типа эта задача решается с помощью внутриволноводных объемных и открытых резонаторов, выполняемых в виде дисков (рис. 5 (а, б)), или размещения диода в толстой ёмкостной диафрагме рис. 5 (а, в).

Эскиз конструкции автогенератора с диодами Гана волноводного типа приведен на рисунке 6. Из него следует, что автогенератор включает следующие элементы: резонатор, в основном определяющий частоту автоколебаний, устройство механической перестройки резонансной частоты, согласующая элементы диода с резонатором, устройство связи с нагрузкой, фильтрующие и развязывающие элементы.

В качестве элементов перестройки частоты используют короткозамыкающие плунжеры и специальные винты, вводимые в полость резонатора. Связь с нагрузкой осуществляется с помощью ступенчатого трансформатора или специальной диафрагмы, устанавливаемые в волноводе (рис. 5 (а, б, в, г)).

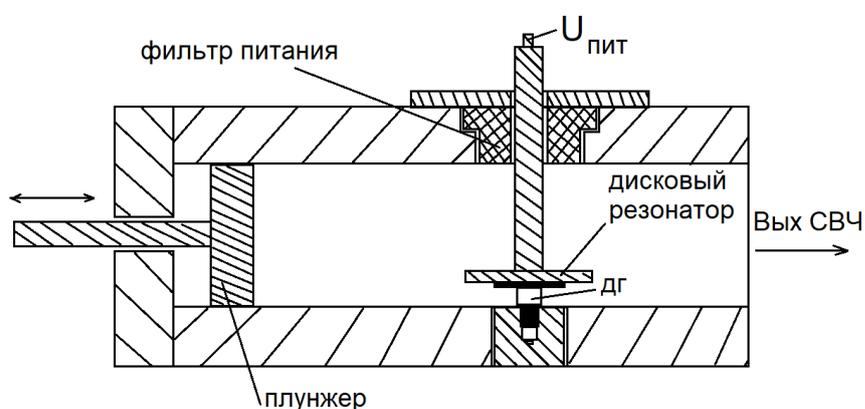


Рис. 5. Диодная камера волноводного типа

Элементы конструкций линий передачи СВЧ

Особенности волноводных линий передач

Основная особенность волноводных линий передачи заключается в том, что их электромагнитные поля имеют продольную составляющую электрических или магнитных полей. Наиболее распространенными являются волноводы прямоугольного сечения.

Соединения линий передачи СВЧ

Для сборки и разборки элементов тракта СВЧ они оснащаются специальными разъемами или соединительными устройствами.

В волноводных трактах применяют два типа соединений: контактное и дроссельно-фланцевое. Контактное соединение может быть неразборным и разборным. Неразборное соединение волноводов осуществляется с помощью внешних муфт, надеваемых на место соединения с последующей сваркой или пропайкой (рис. 6, (а)). Разборное соединение выполняется в виде гладких фланцев, припаиваемых к концам волновода (рис. 6, (б)). Направляющие штифты обеспечивают необходимую точность установки волноводов.

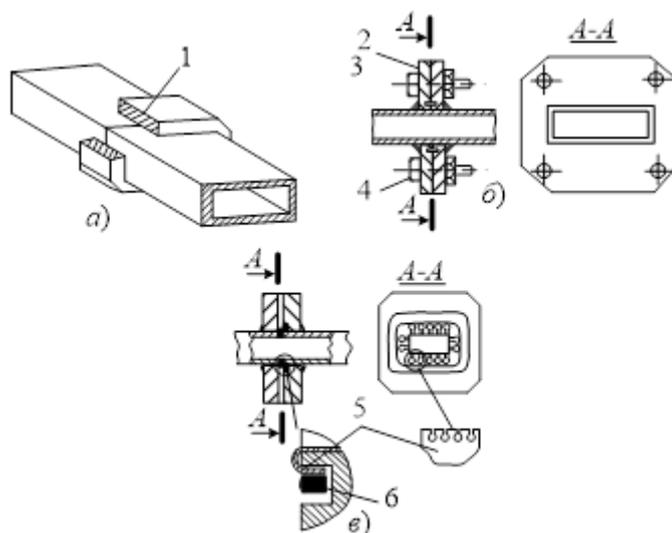


Рис. 6. Соединение волноводов: а – неразъемное контактное; б – разъемное контактное; в – контактное с пружинящей прокладкой; 1 – припой; 2 – гладкий фланец; 3 – направляющий штифт; 4 – болт.

Экспериментальная часть

Конструкция волноводного автогенератора

В работе исследуется автогенератор 3-х см-диапазона на диоде Ганна типа АА703Б волноводной конструкции. Конструкция генератора приведена на рис. 7.

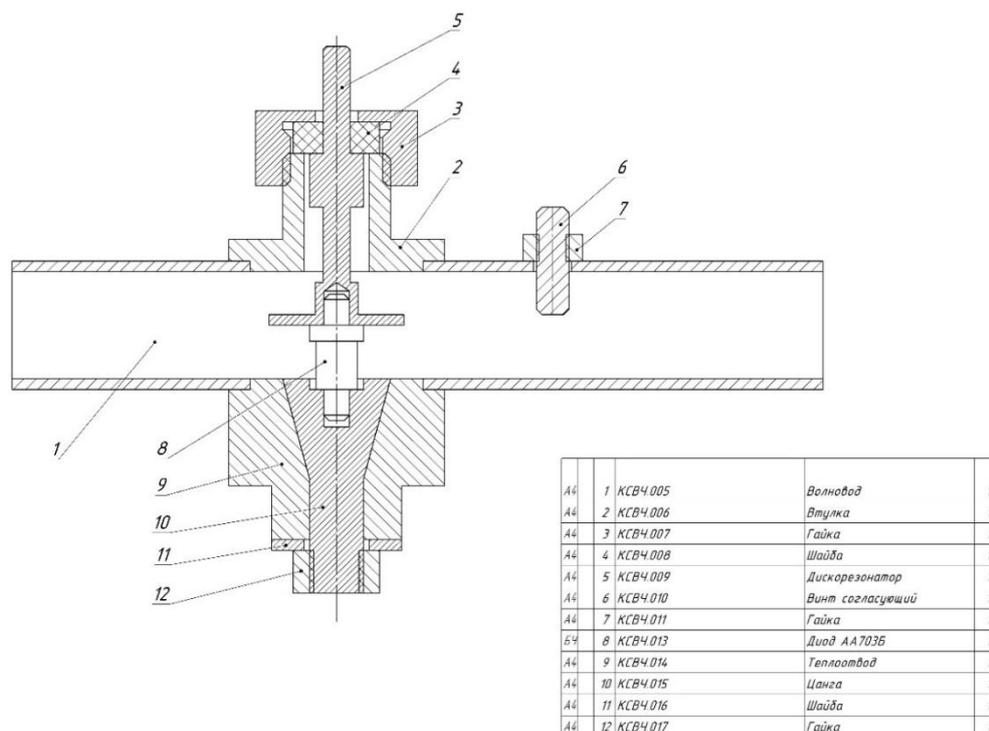


Рис. 7. Конструкция волноводного автогенератора на диоде Ганна

Анодная камера 1 автогенератора представляет собой монолитную конструкцию отрезка волновода 3-х см диапазона пониженного сечения (20×5) мм. Снижение высоты канала волновода позволяет снизить волновое сопротивление и улучшить согласование диода с волноводом. Винт 6 служит для подстройки частоты автогенератора. Диод Ганна помещен анодным выводом в отверстие цанги держателя 10, которая одновременно с радиатором 9 служит для отвода тепла от диода на корпус генератора 1. Ввод питания отрицательной полярности осуществляется через втулку 5 и подводится к катоду диода Ганна. Втулка 10 выполняет несколько функций:

- 1) собственно ввода питания;
- 2) фильтра низкой частоты (ФНЧ),
- 3) согласующего элемента.

Камера изготовлена из алюминиевого сплава с последующим анодным оксидированием, позволяющим получить на поверхности втулки 10 электроизолирующий слой Al_2O_3 , толщиной несколько сотен ангстрем, таким образом, помещённая в отверстие корпуса втулка 5 представляет собой блокировочный конденсатор в цепи питания с ёмкостью несколько сотен пикофард. Для СВЧ колебаний такой конденсатор представляет короткое замыкание и предотвращает проникновение СВЧ колебаний в цепи питания диода.

Изображения изготовленного волноводного автогенератора на диоде Ганна представлено на рис. 8.



Рис. 8.

Экспериментальная установка

Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 9.

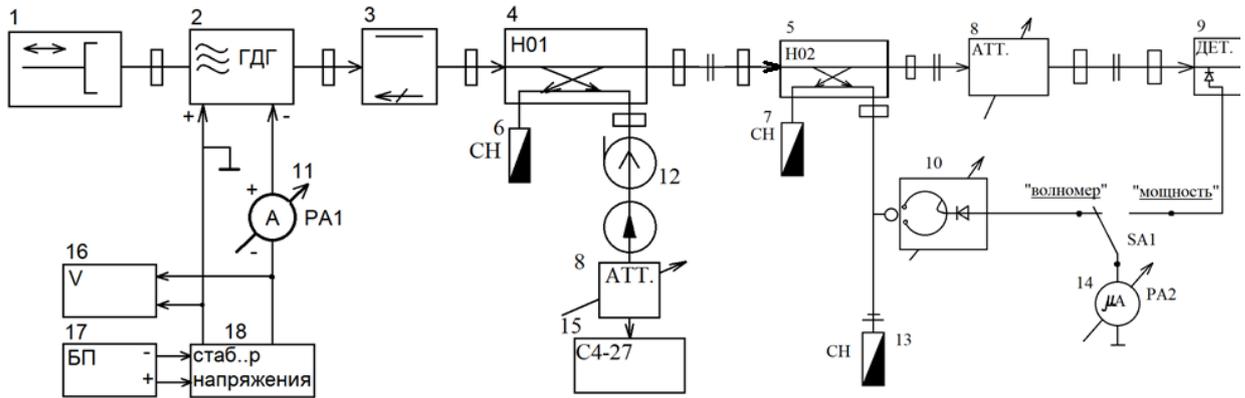


Рис. 9. Блок-схема экспериментальной установки

- 1) короткозамыкатель волноводный; 2) ГДГ автогенератор; 3) вентиль; 4) направленный ответвитель НО1; 5) направленный ответвитель НО2; 6,7) согласование нагрузки направленных ответвителей НО1 и НО2; 8) переменный аттенюатор; 9) детекторная головка; 10) волномер; 11) измеритель тока ГДГ; 12) коаксиально-волноводный переход (КВП); 13) согласование поглощающая нагрузка; 14) РА2 индикатор мощности (в режиме “переключателя мощность”) или индикатор настройки волномера (в режиме “волномер”) 15) анализатор спектра СЧ-27; 16) цифровой вольтметр; 17) блок питания; 18) регулируемый стабилизатор напряжения диода Ганна.

Выполнение экспериментов

Эксперимент 1. Исследование вольт-амперной характеристики диода Ганна



Рис. 10. Вольт-амперной характеристики диода Ганна

Эксперимент 2. Исследование генерации диода Ганна

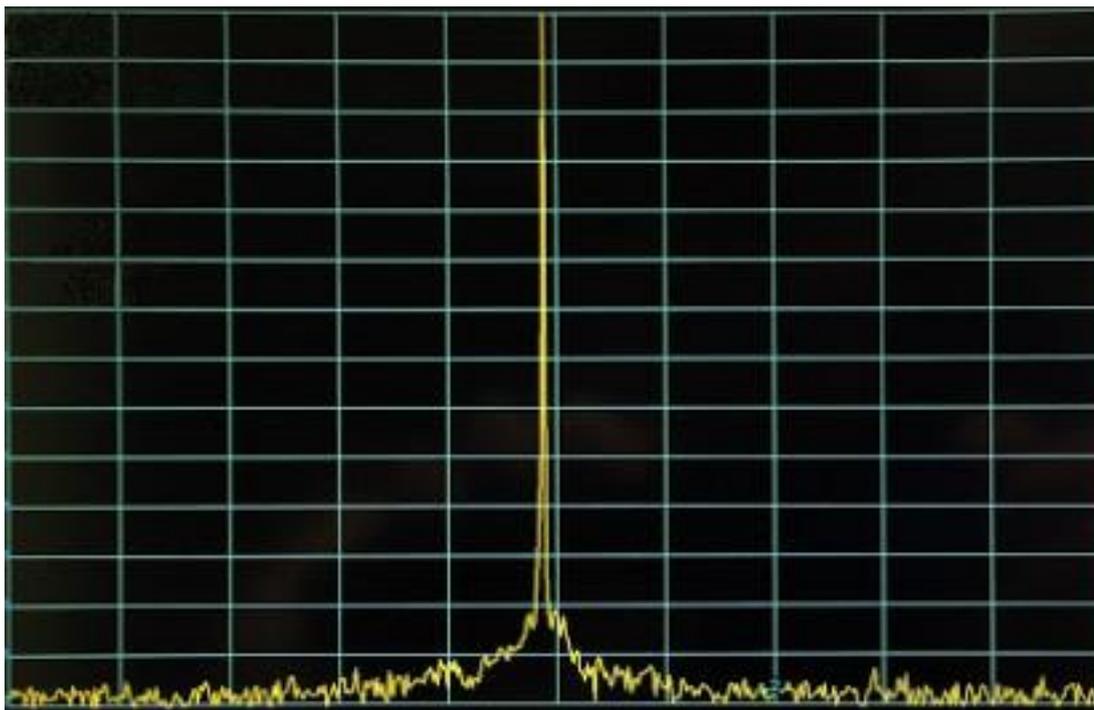


Рис. 11. Вид спектра генератора Ганна

Эксперимент 3. Исследование механической перестройки частот ГДГ

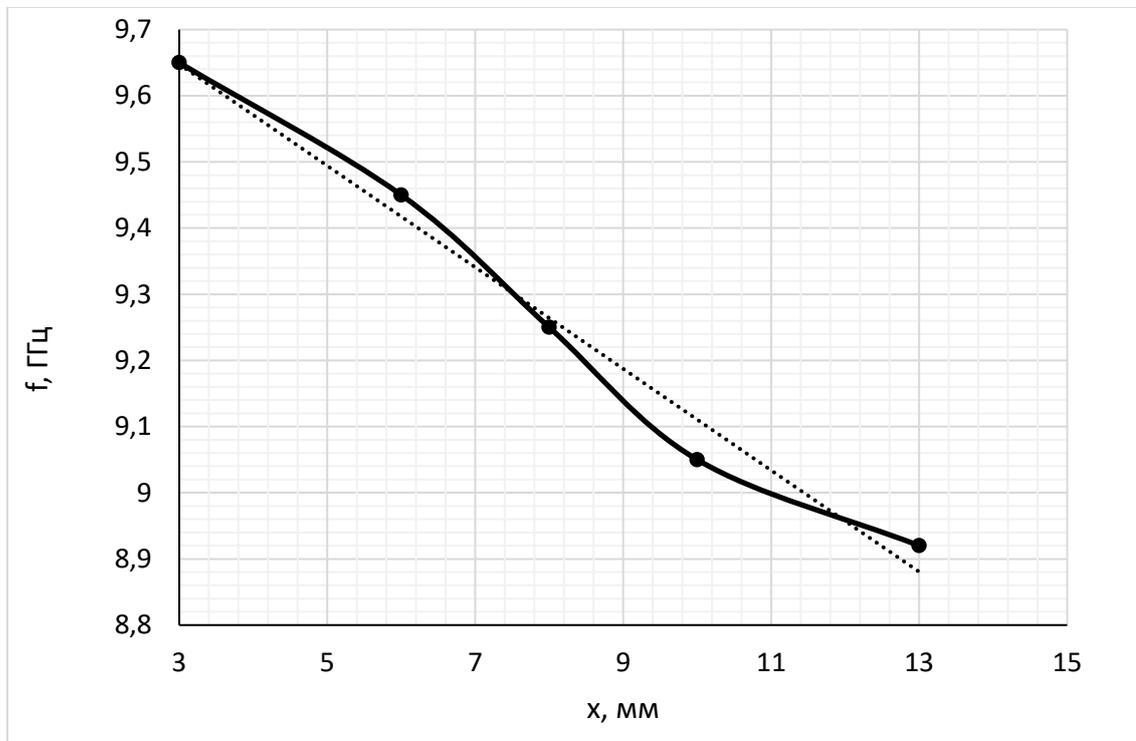


Рис. 12. Механическая перестройка частот ГДГ.

Эксперимент 4. Исследование электрической перестройки частоты в зависимости от напряжения питания диода Ганна.

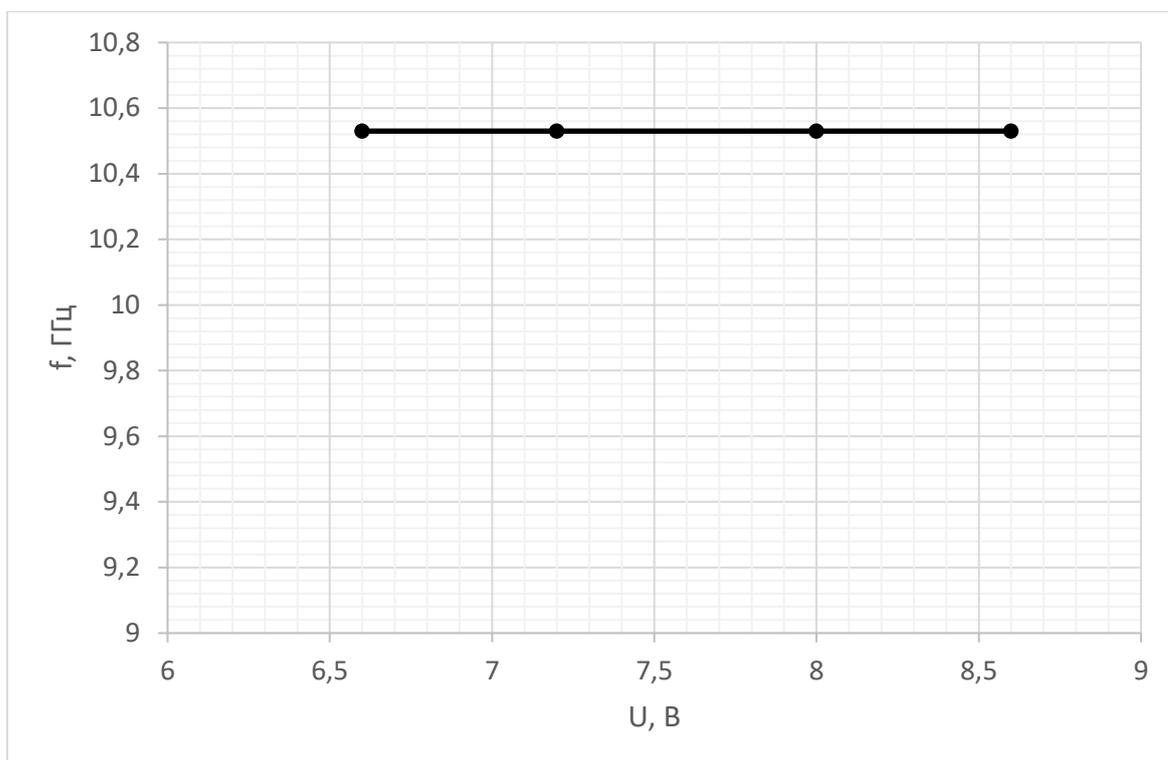


Рис. 13. Электрическая перестройка частоты в зависимости от напряжения питания ДГ.

Эксперимент 5. Исследование ширины спектра автогенератора на диоде Ганна.

Ширина спектра в экспериментах была примерно от 0,3 до 0,5 МГц. Подробное исследование не проведено.

Заключение

В выпускной работе изложен краткий теоретический обзор физических основ работы генераторов СВЧ на диодах Ганна, а также элементы конструкций линий передачи СВЧ.

Была создана конструкция, представленная в приложении 3, и исследованы основные характеристики генератора, а также сборка макета генератора и установки.

В ходе работы было проведено исследование характеристик диода Ганна: исследовали механическую перестройку частот и электрическую перестройку частоты в зависимости от напряжения питания.

В результате проведения экспериментов были построены графики. В экспериментах была построена вольт-амперная характеристика диода Ганна. На графике имеется участок с отрицательным наклоном. Также был получен вид спектра генератора Ганна. Исследована механическая перестройка частот ГДГ. Увеличивая положение короткозамыкателя, частота уменьшалась с шагом $\approx 0,2$ ГГц. Особое внимание имеет в экспериментах электрическая перестройка частоты в зависимости от напряжения питания диода Ганна. С увеличением напряжения, частота не меняла своё значение. Можно сделать вывод о том, что частота генерации практически не зависит от напряжения, что свидетельствует о хорошем свойстве для генератора. Диапазон изменения напряжений исследовался довольно узкий. Ширина спектра в экспериментах была примерно от 0,3 до 0,5 МГц, но подробное исследование ширины спектра автогенератора на диоде Ганна не проведено в связи с пандемической проблемой в стране.

Выпускная квалификационная работа может быть использована в качестве руководства к лабораторной работе «Исследование СВЧ-генератора на диоде Ганна». Полученные результаты эксперимента позволят оценить зависимость перестройки частоты от напряжения и от перемещения плунжера.

Список использованных источников\

1. Литвинов, В. Р. Компактные 90-градусные скрутки в прямоугольных волноводах [Текст] / В. Р. Литвинов, Л. А. Рудь, Е. А. Свердленко // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 2010.– Т. 53, № 3. – С. 50-57.
 2. Неганов, В. А. Теория и применение устройств СВЧ [Текст]: Учебн. пособие для вузов / В. А. Неганов, Г. П. Яровой; Под ред. В. А. Неганова – М.: Радио и связь, 2006. – 720с.
 3. Лебедев А. И. Физика полупроводниковых приборов. М., Физматлит, 2008.
 4. Кулешов В.Н., Удалов Н.Н., Богачев В.М. и др. Генерирование колебаний и формирование радиосигналов. — М.: МЭИ, 2008. — 416 с.
 5. В. В. Тюрнев. Теория цепей СВЧ: Учеб. пособие // Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003, 194 с.
- Альтман, Дж. Устройства СВЧ [Текст] / Дж. Альтман; пер. с англ.; под ред. И. В. Лебедева. - М.: Мир, 1968. – 488 с.
6. О. О. Дробахин, С. В. Плаксин, В. Д. Рябчий, Д. Ю. Салтыков. Техника и полупроводниковая электроника СВЧ: Учебное пособие [Электронное издание] / Севастополь: Вебер, 2013.– 322 с.
 7. С.М. Зи. Физика полупроводниковых приборов. – Книга 2, М.: 1984.
 8. Справочник по волноводам. Пер. с англ. Под ред. Я. Н. Фельда. – М.: Сов. радио, 1952, с. 431.
 9. В. И. Каганов. СВЧ полупроводниковые передатчики. М. – Радио и связь, 1981, пар. 1.2, 1.3, гл. 4, гл. 7.
 10. Л. Г. Гассанов, А. А. Липатов и др. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи. – М.: Радио и связь, 1988, пар. 7.4, с. 186-190.
 11. Справочник. Полупроводниковые приборы. Сверхвысокочастотные диоды. Ред ред. Б. А. Наливайко. Томск, МГП «Раско» - 1992г.
 12. Обзоры по электронной технике. Сер. 1. Электроника СВЧ, Вып. 5 (1359), 1988г, А. И. Абраменков, И. И. Бропуленко, В. М. Геворкян, Д. А. Ковтунов. Состояние и перспективы применения миниатюрных

диэлектрических резонаторов в перестраиваемых полупроводниковых генераторах. М.: ЦНИИ «Электроника».

13. М. С. Гусятников, А. И. Горбачев. Полупроводниковые сверхвысокочастотные диоды. –М.: Радио и связь, 1983, с.181-194.

14 Генератор на диоде Ганна: Метод. указания/Ленинг. гос. техн. университет; Сост.: А.В.Мещеряков. 1991. 32.

15. Анализаторы спектра СЧ-27, СЧ-28. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, ч. 1.