

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»
(СГУ)

Кафедра физики твёрдого тела

**Исследование возможности преобразования токовых колебаний в
высокоомных GaAs в структурах в гармонический сигнал**

АФТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 2252 группы

направления 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

института физики

Косенкова Алексея Алексеевича



Научный руководитель:

д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

Консультант:

заведующий лабораторией

должность, ученая степень, ученое звание

Зав. кафедрой физики твердого
тела:

д.ф.-м.н., профессор

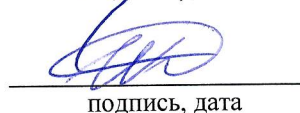
должность, ученая степень, ученое звание



подпись, дата

А.И. Михайлов

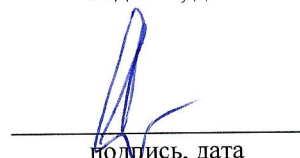
инициалы, фамилия



подпись, дата

И.О. Кожевников

инициалы, фамилия



подпись, дата

А.В. Скрипаль

инициалы, фамилия

Саратов 2025

ВВЕДЕНИЕ

Развитие электроники в наше время предполагает усовершенствование интегральных технологий в сфере микро- и нанoeлектроники. Такими усовершенствованиями являются уменьшение размеров, уменьшение энергопотребления и сокращение затрат на изготовление. Для развития микроэлектроники в данном направлении интересными могут стать приборы функциональной электроники, использующие свойства нелинейных активных сред [1,2].

Примером такого функционального прибора является высокоомная планарная структура арсенида галлия *n*-типа, в которой в сильных электрических полях формируются осцилляции тока, параметрами которых в широком диапазоне можно управлять несколькими способами: изменением постоянного приложенного напряжения, величины магнитного поля и интенсивности освещения длинами волн из диапазона, соответствующих собственному поглощению арсенида галлия [3,4]. Таким образом, зависимость частоты осцилляций тока от указанных способов воздействия на структуру подразумевает возможность создания управляемого генератора на основе высокоомной эпитаксиально-планарной структуры GaAs.

Актуальность темы. Свип-генератор - это генератор электромагнитных колебаний, частота которого меняется со временем по определенному закону в определённых пределах. Такое название заимствованно из английского языка. Слово sweep означает «непрестанное движение». Более современное название для свип-генератора – генератор качающейся частоты (ГКЧ).

Актуальность данной работы состоит в том, что преобразование токовых колебаний в высокоомных структурах GaAs в гармонический сигнал позволит изготавливать на их основе генераторы качающейся частоты с малыми размерами и высокой энергоэффективностью. Создание малоразмерного ГКЧ с гальванической развязкой управляющего сигнала в интегральном исполнении позволит получить неоспоримые преимущества перед аналогами на схемах из дискретных полупроводниковых элементов.

Цель и задачи магистерской работы. В связи с этим, целью данной магистерской работы является исследование возможности преобразования токовых колебаний в высокоомных GaAs в структурах в гармонический сигнал.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Литературный обзор по теме исследования.
2. Оценка величины амплитуды первой гармоники выходного сигнала структуры полуизолирующего арсенида галлия.
3. Выбор метода перестройки формы исходного сигнала структуры в гармонический вид.
4. Расчет и реализация фильтра для выделения гармоник выходного сигнала структуры полуизолирующего GaAs в заданном диапазоне частот.

Структура магистерской работы. Кроме ВВЕДЕНИЯ, ЗАКЛЮЧЕНИЯ, СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ и ПРИЛОЖЕНИЙ работа включает 2 основных раздела:

- 1 Литературный обзор по теме исследования.
 - 1.1 Принцип работы свип-генератора.
 - 1.2 ОДП и механизмы неустойчивостей тока в GaAs.
 - 1.3 Генератор токовых колебаний с перестраиваемой частотой на основе высокоомных структур GaAs.
 - 1.4. Методы преобразования формы сигнала.
- 2 Экспериментальное исследование.
 - 2.1 Объект исследования.
 - 2.2 Методика исследования и используемое оборудование.
 - 2.3 Измерение параметров первых трех гармоник исходного сигнала.
 - 2.4 Расчет и проектирование фильтров.
 - 2.5 Экспериментальное исследование рассчитанных фильтров.

Положение, выносимое на защиту. Спроектированы и экспериментально исследованы пассивные фильтры нижних частот, выделяющие первую гармонику из исходного сигнала высокоомной

эпитаксиально-планарной мезоструктуры GaAs. Наличие максимума на АЧХ системы из эпитаксиально-планарной мезоструктуры GaAs и ФНЧ связано с наложением АЧХ мезоструктуры и АЧХ фильтра, а участки малого изменения амплитуды являются следствием их компенсации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В разделе 1 рассматривается информация о свип-генераторах (генераторах качающейся частоты) и особенностях появления неустойчивых токовых колебаний (рекомбинационная неустойчивость) в высокоомной структуре арсенида галлия. Описывается исследуемый прототип – функциональный преобразователь свет-частота, построенный на основе высокоомной эпитаксиально-планарной структуры GaAs. Приводятся экспериментальные зависимости частоты колебаний от мощности сфокусированного лазерного излучения при различном напряжении на структуре [2].

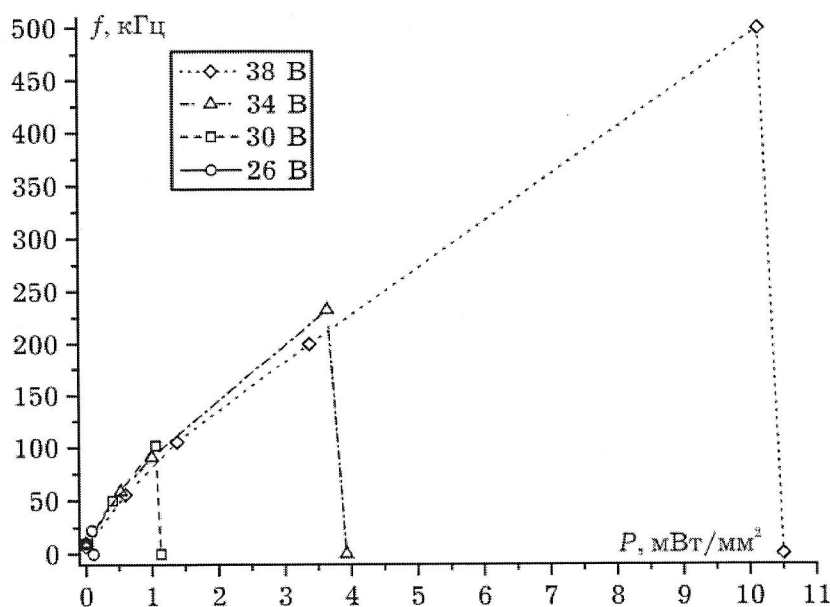


Рисунок 2 – Зависимость частоты колебаний от мощности сфокусированного лазерного излучения при различном напряжении на структуре [3]

Рассматриваются методы преобразования формы сигналов, приведены преимущества и недостатки каждого из методов, и обоснование выбора метода пассивной фильтрации

В разделе 2 описывается структура, на которой производились эксперименты. Описывается методика градуировки лазерного диода, приводится полученная ватт-амперная характеристика. Приводятся результаты измерения параметров первых трех гармоник исходного сигнала. Показано, что при воздействии засветки на структуру с ростом частоты токовых колебаний также пропорционально увеличивается амплитуда первых трех гармоник. Рассчитываются АЧХ и элементы схемы фильтра нижних частот (ФНЧ) для фильтрации первой гармоники генерируемого сигнала (рисунки 3 и 4).

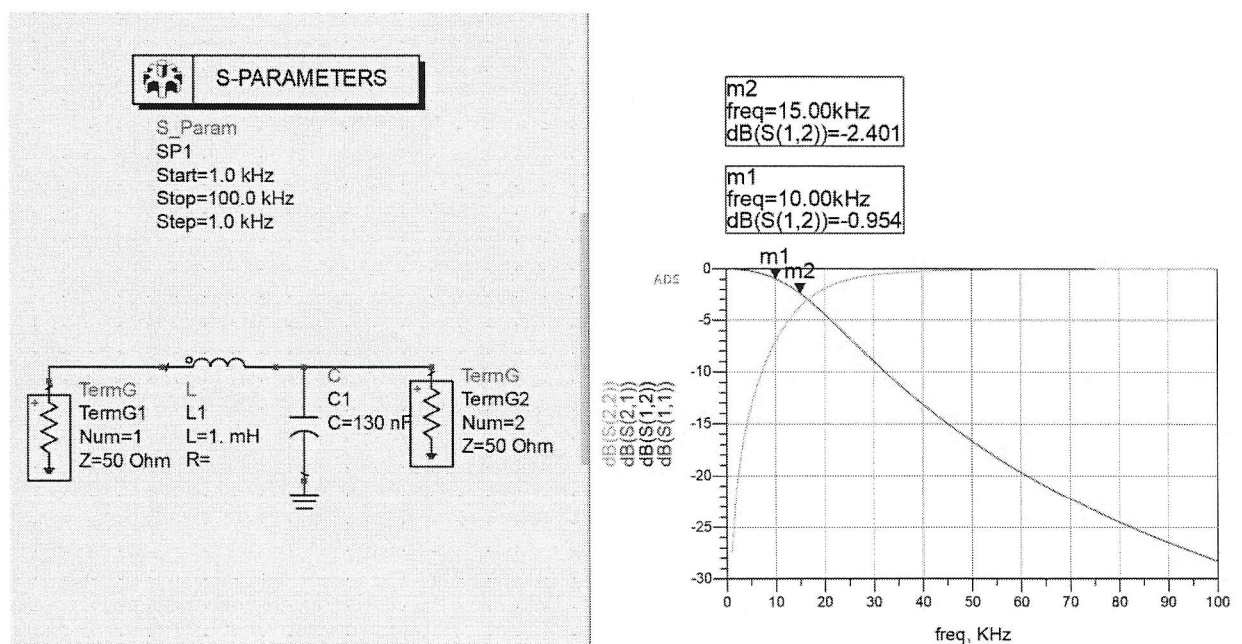


Рисунок 3 – Схема и АЧХ фильтра низких частот с рассчитанной частотой среза 10 кГц

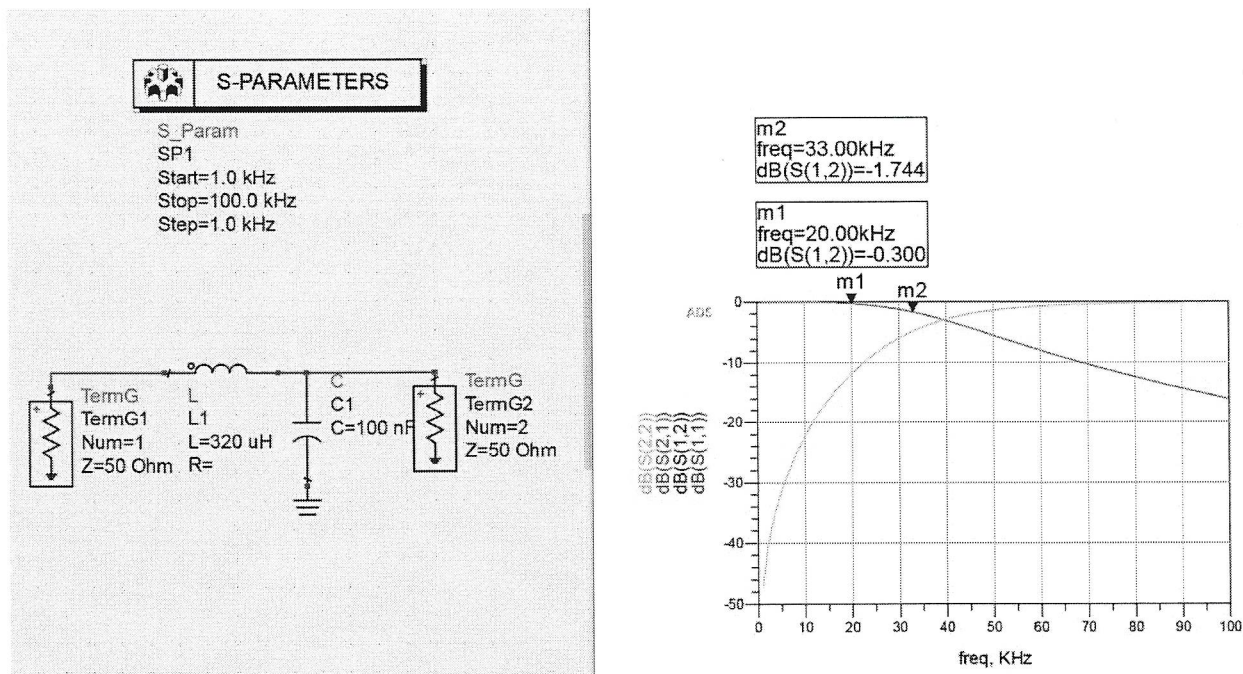


Рисунок 4 – Схема и АЧХ фильтра низких частот с рассчитанной частотой среза 20 кГц

Положение точечного зонда относительно омического контакта на подложке GaAs (рисунок 5) определяет параметры возникающих в структуре токовых колебаний, а именно частоты, амплитуды, коэффициента перестройки частоты от мощности засветки. При проведении экспериментов положение точечного зонда относительно омического контакта выбирались произвольно. При этом катодом был зонд, расположенный на омическом контакте, а анодом – на подложке GaAs.

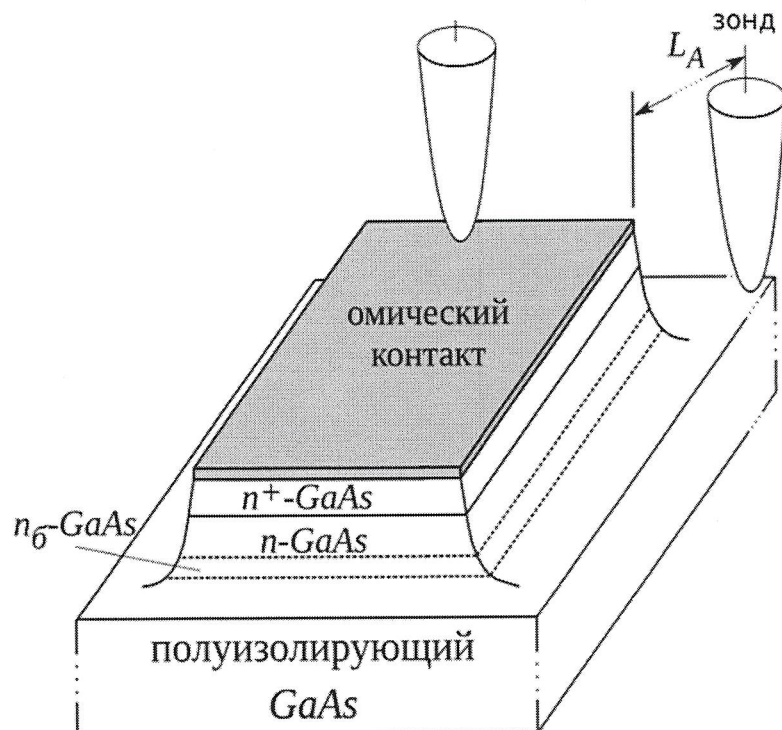


Рисунок 5 – Положение точечного зонда относительно омического контакта

При проведении исследования рассчитанных ФНЧ частота среза фильтра выбиралась исходя из рабочего диапазона частот конкретного варианта положения зонда. Схема измерительной установки приведена на рисунке 6.

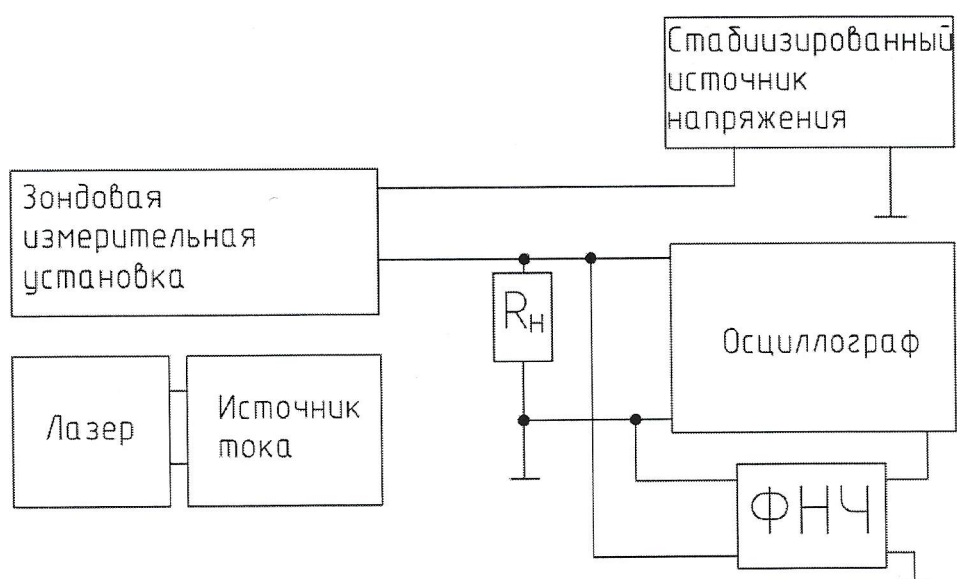


Рисунок 6 – Схема измерительной установки с подключенным ФНЧ

Сигнал с нагрузочного резистора сопротивлением 3 кОм в составе измерительной схемы (рисунок 6) подавался на вход ФНЧ. ФНЧ собирался на макетной плате (рисунок 7) по рассчитанным параметрам под частотный диапазон конкретного варианта положения зонда. Частота на выходе структуры задавалась током лазерного диода, излучение которого фокусировалось на поверхности структуры в области между зондом и омическим контактом.

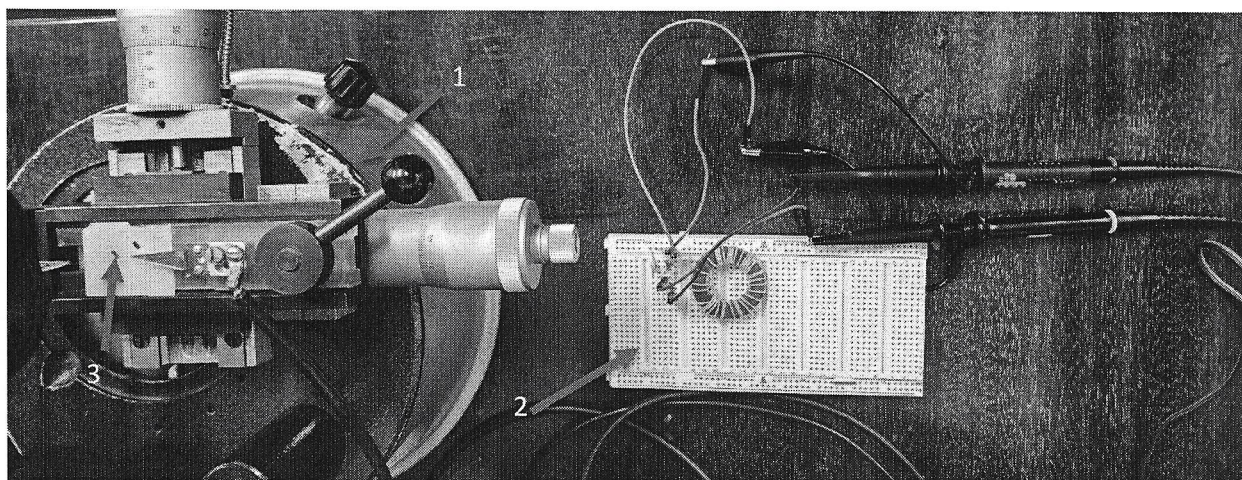


Рисунок 7 – ФНЧ, подключенный к исследуемой структуре и осциллографу АКИП 4115/3А

По результатам эксперимента строятся графики зависимости амплитуды на выходе ФНЧ, от частоты исходного сигнала, генерируемого структурой высокоомного GaAs. На рисунке 8 приведены результаты для оценки корректности работы рассчитанных фильтров. На осциллограмме можно видеть синусоидальную форму сигнала (канал 2) на выходе ФНЧ.

Далее исследовались зависимости амплитуды преобразованного ФНЧ сигнала от частоты исходного при двух вариантах положения зонда относительно омического контакта. Зависимости строились в диапазоне, в котором форма преобразованного сигнала сохраняет гармонический вид.

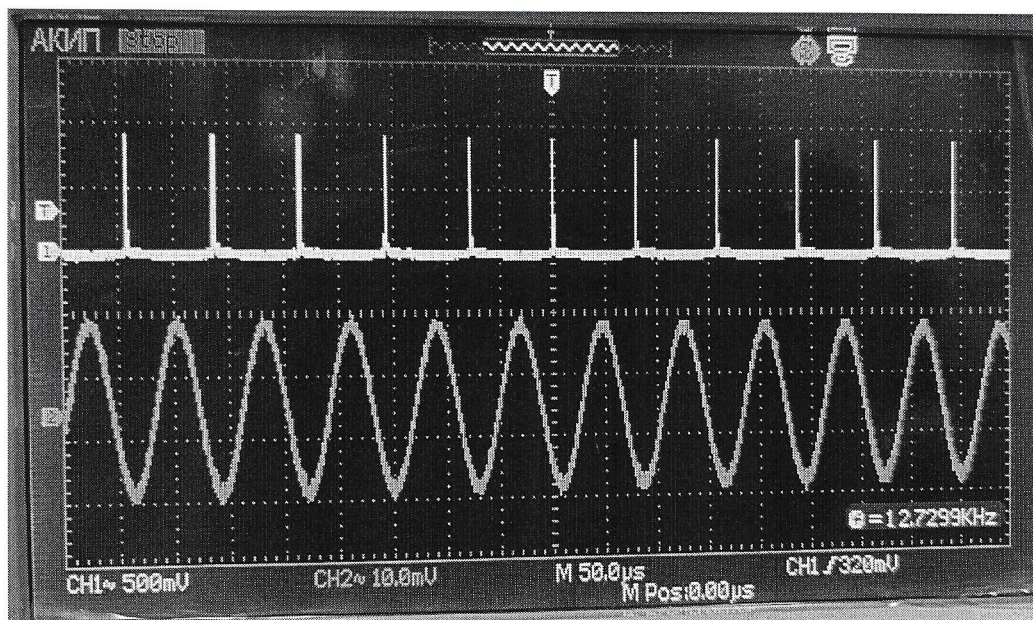


Рисунок 8 – Осциллограммы исходного сигнала (1), и сигнала на выходе ФНЧ (2) с частотой среза 15 кГц, вариант положения зонда 1, частота – 12,7 кГц, Амплитуда на выходе ФНЧ ≈ 30 мВ

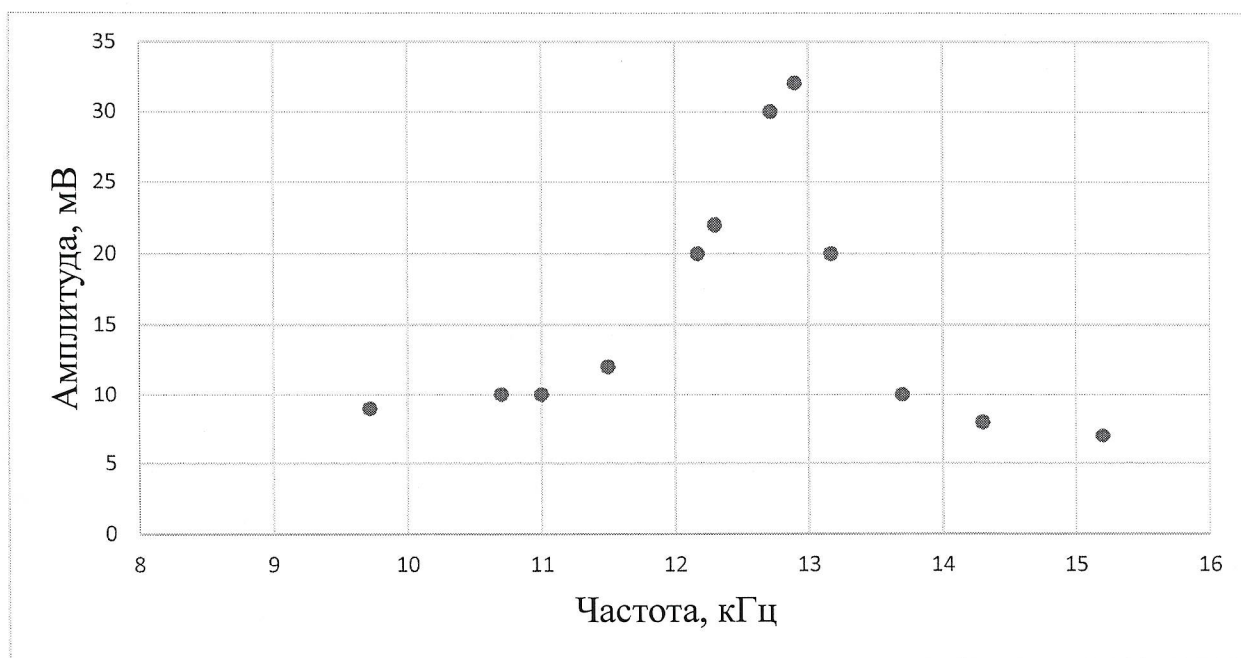


Рисунок 9 – Зависимость амплитуды сигнала на выходе фильтра от частоты исходного сигнала в диапазоне перестройки частоты исходного сигнала, соответствующем гармонической форме сигнала для 1 варианта положения зонда

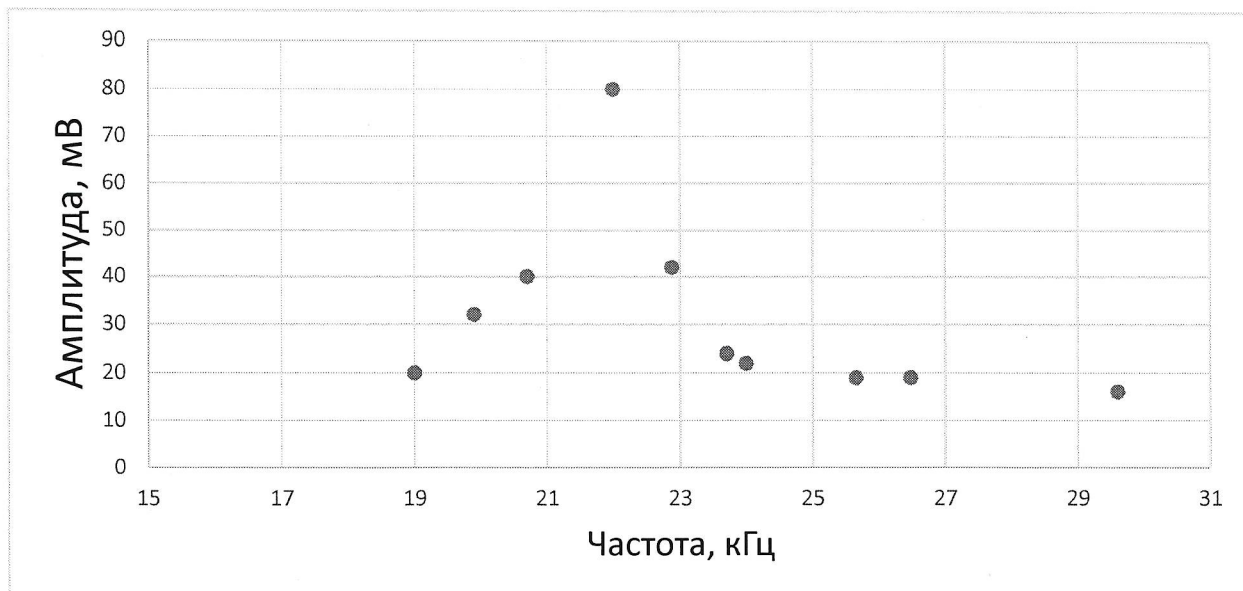


Рисунок 10 – Зависимость амплитуды сигнала на выходе фильтра от частоты исходного сигнала в диапазоне перестройки частоты исходного сигнала, соответствующем гармонической форме сигнала для 2 варианта роложения зонда

На рисунках 9 и 10 показаны зависимости амплитуды сигнала на выходе фильтра от частоты исходного сигнала. На обоих графиках виден максимум амплитуды в середине диапазона перестройки частоты, что, вероятно, связано с наложением АЧХ мезаструктуры и АЧХ фильтра. Так же на графиках видны участки малого изменения амплитуды, до и после диапазона максимума, которые возникли вследствие влияния характеристики ФНЧ, а именно компенсацией нелинейности амплитуды исходного сигнала со структуры высокоомного GaAs. Изменение амплитуды на данных участках не превышает 10%.

Исходя из полученных результатов, следует, что способ преобразования формы сигнала с помощью пассивной фильтрации, хоть и показывает положительный результат в виде гармонического сигнала на выходе, но имеет недостатки в виде высокого вносимого ослабления (около 40 дБ) и наличия максимума амплитуды в середине перестройки частотного диапазона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. При воздействии засветки на активную область высокоомной структуры GaAs с ростом частоты токовых колебаний пропорционально увеличивается амплитуда первых трех гармоник.
2. Спроектированы и экспериментально исследованы пассивные фильтры нижних частот, выделяющие первую гармонику из исходного сигнала высокоомной эпитаксиально-планарной мезоструктуры GaAs.
3. Наличие максимума на АЧХ системы из эпитаксиально-планарной мезоструктуры GaAs и ФНЧ, вероятно, связано с наложением АЧХ мезоструктуры и АЧХ фильтра, а участки малого изменения амплитуды являются следствием их компенсации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шур М. С. Современные приборы на основе арсенида галлия. Пер. с англ. / М. С. Шур, под ред. М.Е. Левинштейна// М.: Мир. – 1991. – 632 с.
2. Бонч-Бруевич В. Л. Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках / В. Л. БончБруевич, И. П. Звягин, А. Г. Миронов // М.: Наука. – 1972. – 416 с.
3. А.И. Михайлов, А.В. Митин, И.О. Кожевников /Функциональный однокристалльный преобразователь свет-частота на основе высокоомного n-GaAs// Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского- Том 17, № 4 – 2014 г – 69 с.
4. Пат. 161 399 Российская Федерация. МИКРОРАЗМЕРНЫЙ ГЕНЕРАТОР С ОПТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ/ Михайлов Александр Иванович, Кожевников Илья Олегович. - Заявка № 2015117765/28 от 13.05.2015; опубликовано 20.04.2016 Бюл. № 11.

