

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Адамов Кирилл Николаевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Расчет и измерение параметров оптического волновода щелевого
волноводного СО₂ лазера в холодном состоянии (без разряда).**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19313

Научный руководитель:

к.ф.-м.н А.И. Карапузиков

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

И. И. Морозов

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2020

Аннотация

Данное исследование посвящено моделированию оптического волновода щелевого волноводного CO_2 лазера с целью уточнения существующих моделей и нахождения способов корректировки. Проведено моделирование оптического волновода CO_2 лазера при отсутствии разряда в активной среде устройства. В теоретической модели оптического волновода лазера были приняты во внимание свойства оптического волновода как длинной линии. Данные, полученные путём моделирования, сравнивались с результатами проведённого эксперимента.

Оглавление

1. Введение	4
2. Теоретическая часть	5
3. Экспериментальная часть	8
4. Анализ результатов эксперимента	9
5. Уточнение теоретической модели	10
6. Вывод	11
7. Список литературы	12

1. Введение

Волноводные CO_2 -лазеры с в.ч.-возбуждением компактны и не требуют источников высокого напряжения. Наибольшее распространение получили лазеры, которые обладают средней мощностью излучения в районе от 1 до 100 Ватт. Подобного рода лазеры часто используются в медицине и приборостроении. Могут работать в непрерывном и периодическом режиме генерации сигнала. Для возбуждения активной среды лазера используется поперечный ёмкостной высокочастотный разряд. Активная среда – это, в основном, смесь углекислого газа, азота, гелия и ксенона при давлении от десятков до двухсот торр. Частоты ВЧ генераторов, которые применяются для возбуждения активной среды лазера, лежат в пределах от 40 до 150 МГц.

Для лазеров с в.ч.-возбуждением в.ч. тракт очень важен, поскольку именно он определяет общую эффективность прибора и стабильность появления разряда. Если же запустить лазер в импульсно периодическом режиме генерации, то в.ч. тракт вместе с характеристиками импульса накачки влияет на стабильность импульсов генерации по форме, длительности и величине задержки появления относительно импульсов накачки.

Примерная схема ВЧ тракта лазера представлена на рис.1.

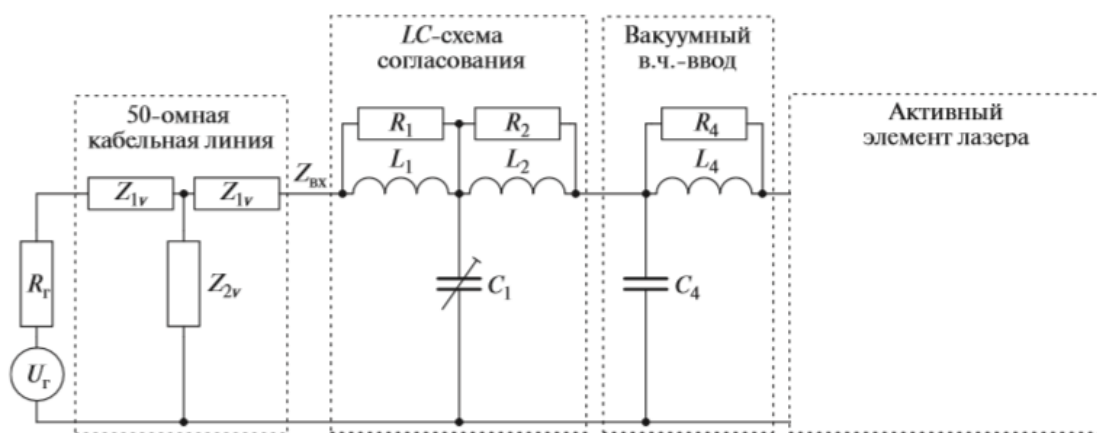


Рис.1 Схема ВЧ тракта лазера

На схеме изображен ВЧ генератор, коаксиальный кабель, LC-схема согласования, вакуумный в.ч. – ввод и активный элемент лазера. Все эти элементы оказывают существенное влияние на работу лазера. В данном же исследовании внимание было уделено только лишь активному элементу лазера. Поскольку этот элемент наиболее сложен в анализе среди всех остальных. На

рисунке 2 схематично изображено внутреннее устройство активного элемента лазера.

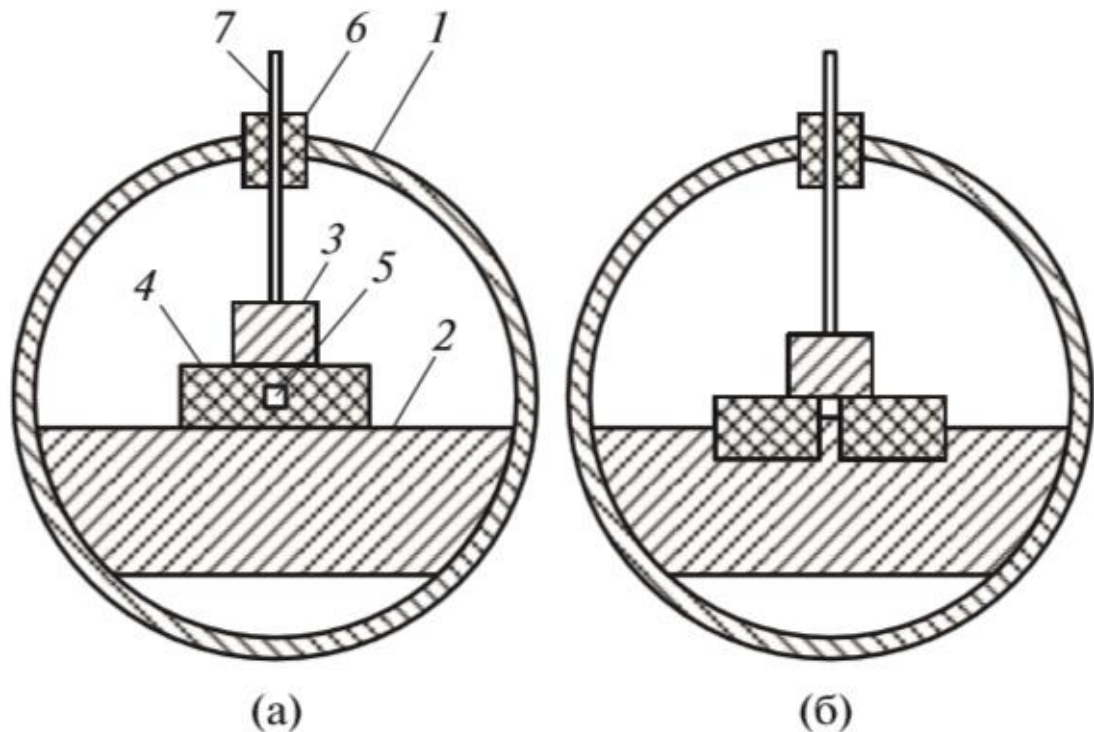


Рис.2 Поперечное сечение излучателя волноводного CO₂-лазера с в.ч.-возбуждением.

1 – металлический герметизированный корпус; 2 – земляной электрод; 3 – потенциальный электрод; 4 – волновод (а – диэлектрический, б – металлодиэлектрический); 5 – оптический канал волновода; 6 – вакуумный в.ч.ввод; 7 – токопровод

Материалы:

Полый диэлектрический волновод — электровакуумное стекло марки С52-1, горячий и холодный электроды из алюминиевого сплава Д16-Т, корпус из алюминиевого сплава Д16-Т, проводник ВЧ ввода из меди.

Целью исследования является моделирование волновода с учётом его свойств как длинной линии при отсутствии разряда.

2. Теоретическая часть

Волновод был принят за длинную линию, и исходя из этого производились теоретические расчёты. Вакуумный в.ч. ввод лазера находится посередине конструкции, и делит её на две симметричные части. Часть лазера разбивается

на n (в данном случае на 100. Этот параметр не оказывает существенного влияния при больших значениях) элементарных звеньев, вот как они выглядят:

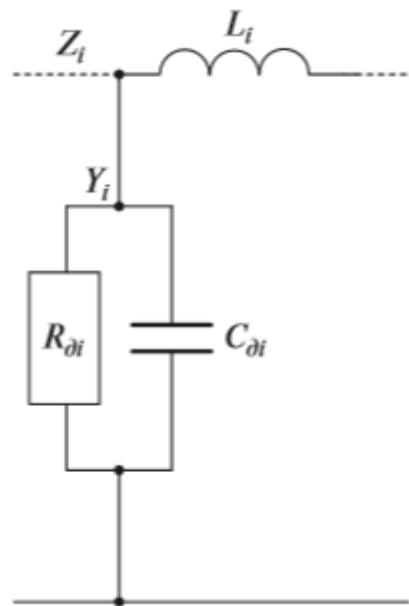


Рис.3 Элементарное звено длинной линии

Первоначально лазерному блоку приписывается некоторая ёмкость C_3 и индуктивность L_3 на всю длину при помощи различных онлайн калькуляторов, исходя из таких параметров, как длина, ширина, толщина и диэлектрическая сопротивляемость электродов и диэлектрика. При помощи калькуляторов удалось получить примерную оценку полной ёмкости и индуктивности волновода.

Ссылки на сайты калькуляторов:

http://wcalc.sourceforge.net/cgi-bin/ic_microstrip.cgi — калькулятор для полосковой длинной линии

<https://chemandy.com/calculators/flat-wire-inductor-calculator.htm> — калькулятор для индуктивности горячего электрода

Вышло 38 пФ и 93 нГн. Дальнейшее моделирование показало, что калькуляторы не обладают достаточной точностью. Далее определим следующие величины для элементарного звена:

$$C_{di} = \frac{C_3}{2n}$$

$$L_{di} = \frac{L_3}{2n}$$

$$R_{di} = \frac{n}{f_{\Gamma} \pi C_3 \operatorname{tg}(\delta)}$$

Где δ характеризует потери в диэлектрике. Так же к волноводу лазера параллельно электродам на середины половинок прицепляются две катушки, они нужны для того, чтобы, во-первых, сделать распределение напряжения по электроду более плавным, во-вторых, создать резонанс на рабочей частоте ВЧ генератора.

Расчёт импеданса длинной линии производится при помощи метода комплексных амплитуд. Вводятся комплексные величины:

$$Z_i = \frac{R_{di} \times \frac{1}{j\omega C_{di}}}{R_{di} + \frac{1}{j\omega C_{di}}}$$

$$ZL_i = j\omega L_i$$

Z , это импеданс половины линии на некотором шаге, на первом шаге равен:

$$Z = Z_i + ZL_i$$

Далее определяется рекуррентная формула для Z :

$$Z = \frac{Z_i \times Z}{Z_i + Z} + ZL_i, \text{ это если нет шунтирующей катушки.}$$

$$Z = \frac{\frac{Z_i \times Z}{Z_i + Z} \times j\omega L_k}{\frac{Z_i \times Z}{Z_i + Z} + j\omega L_k} + ZL_i, \text{ это если есть шунтирующая катушка.}$$

Шунтирующая катушка присутствует только на одном шаге.

В конце найденный импеданс Z нужно поделить пополам, поскольку половинки линии соединены последовательно.

Расчёт производился не вручную, а при помощи программы, написанной на языке python. Качественно АЧХ модели длинной линии представлен на рисунке 4:

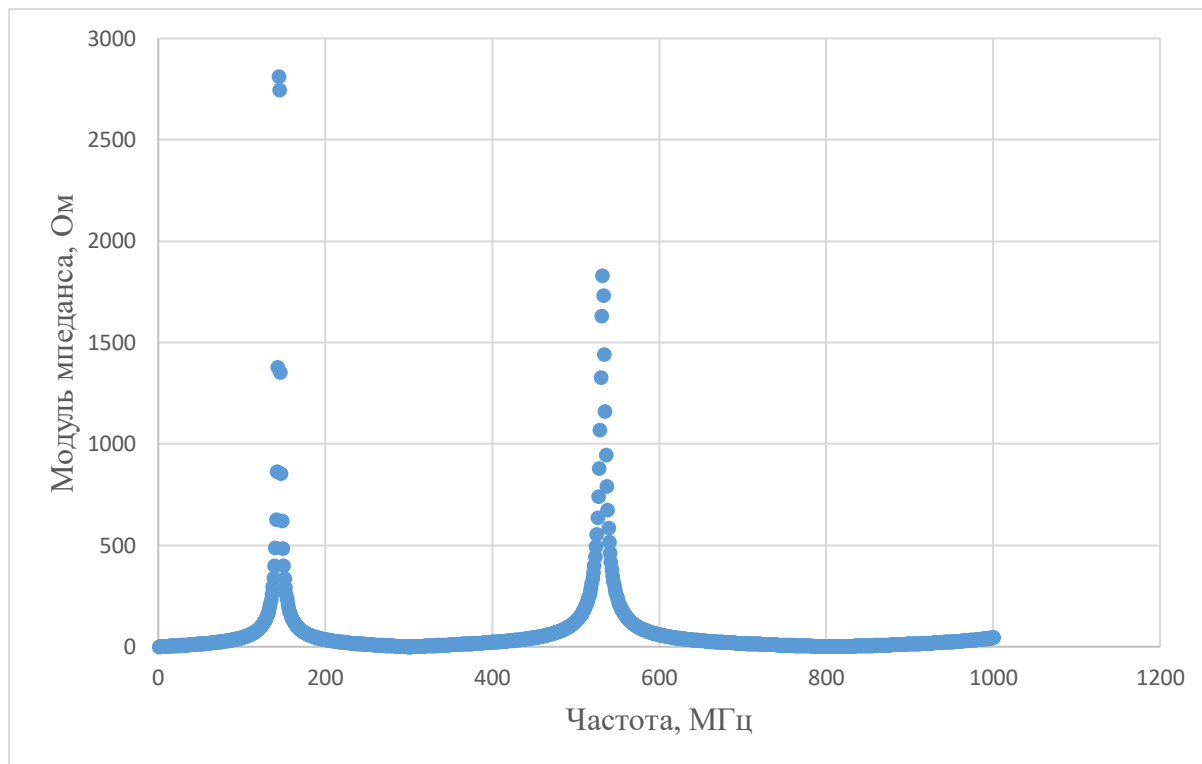


Рис.4 Качественный вид АЧХ волновода

Первый пик – за счёт шунтирующей катушки индуктивностей, второй пик порождён волноводом.

Для того, чтобы измерить АЧХ реального волновода лазера, нужно использовать вакуумный ввод, который оказывает существенное влияние на результат, на схеме он представлен в виде последовательно с волноводом лазера подключенной катушки L4 и конденсатора C4. Конденсатор C4 оказывает сильное влияние на резонансные частоты, индуктивность L4 слабо влияет на модуль импеданса.

Величина индуктивности шунтирующей катушки выбиралась из условия резонанса на частоте генератора 144 МГц при помощи программы, которая пробегает значения от 1 до 1000 наногенри и выбирает индуктивности с наибольшим импедансом.

3. Экспериментальная часть

К корпусу лазера через вакуумный ввод подключается устройство векторный анализатор цепей OBZOR TR1300/1. Он позволяет снять АЧХ в диапазоне от 1 до 1000 МГц с шагом в Гц, изображён на рисунке 5.



Рис.5 Устройство OBZORTR1300/1

Показания прибора на рисунке 6:

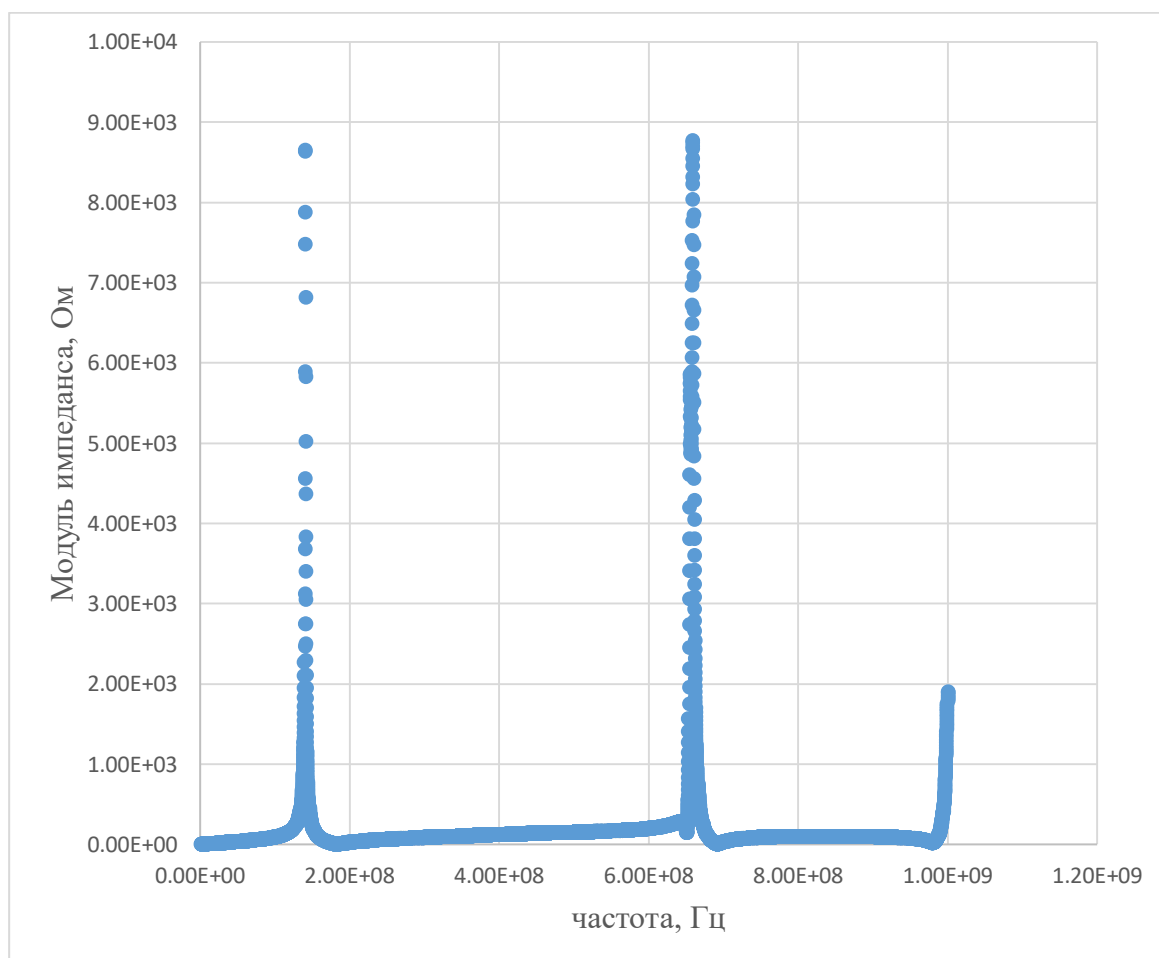


Рис.6 экспериментальная АЧХ лазера с вводом

На АЧХ видны 2 пика с резонансными частотами 144 МГц и 659 МГц, и соответствующими модулями импеданса 8640 Ом и 8870 Ом.

4. Анализ результатов эксперимента

Для полученных при помощи калькулятора характеристик волновода теоретическая модель предсказывает следующую картину, изображённую на рисунке 7:

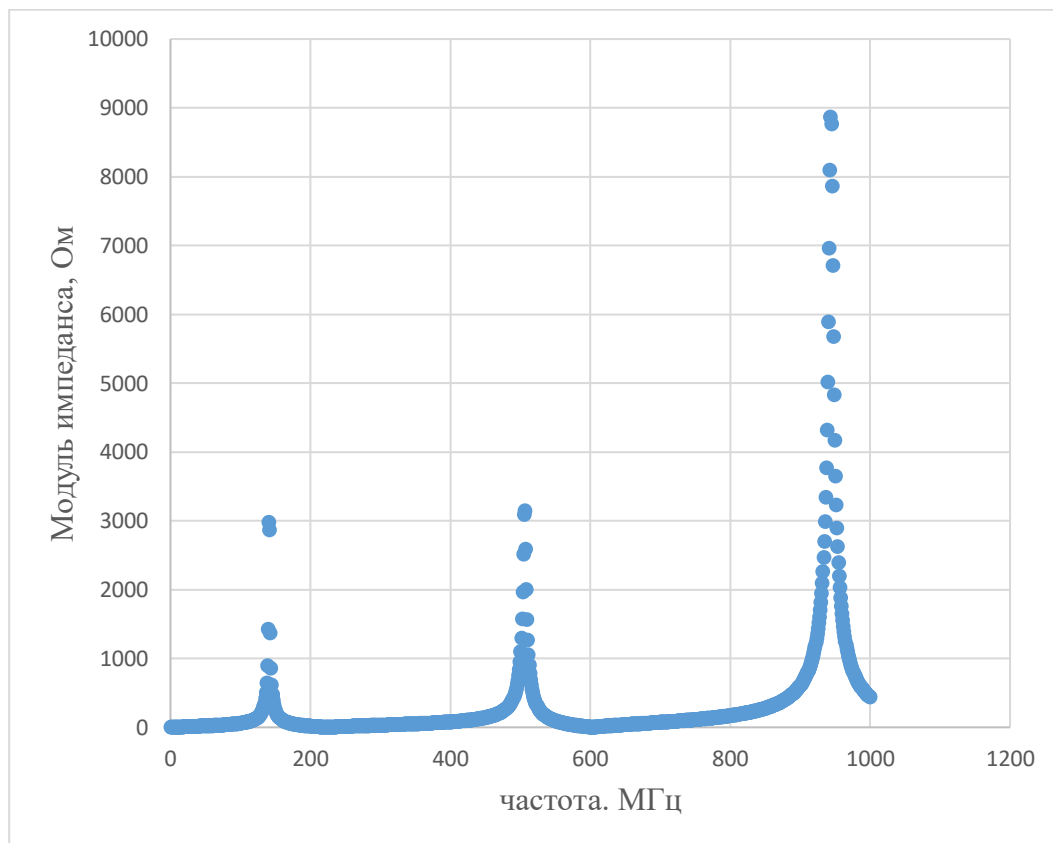


Рис.7 теоретическая АЧХ лазера с вводом

Получилось, что третий пик попал в диапазон до 1000 МГц. Первый пик 141 МГц, второй 507 МГц. Величины модулей импеданса первого и второго пика находятся в районе 3000 Ом, что слишком далеко от результатов измерений. Была попытка путём небольшого варьирования параметров $C3$, $L3$, $L4$, $C4$ добиться более точного результата, но это стремление не увенчалось успехом. Импеданс линии не поднимался выше 5000 Ом на первом пике. В связи с чем было принято решение попробовать изменить величину R_{di} и постараться подобрать параметры волновода и вакуумного ввода для максимального совпадения с результатами эксперимента. В результате чего удалось подобрать

параметры волновода и ввода, которые оказались куда ближе к экспериментальным данным.

5. Уточнение теоретической модели

При помощи перебора были найдены параметры модели, которые дают более точное согласование с результатами эксперимента. Величина R_{di} была принята 2,7 МОм. Величины $C3$, $L3$, $L4$, $C4$ получили соответственно значения 32 пФ, 66 нГн, 4,02 нГн, 1,5038 пФ. Ниже АЧХ, на рисунке 8, которую предсказывает модель с приведёнными выше параметрами.

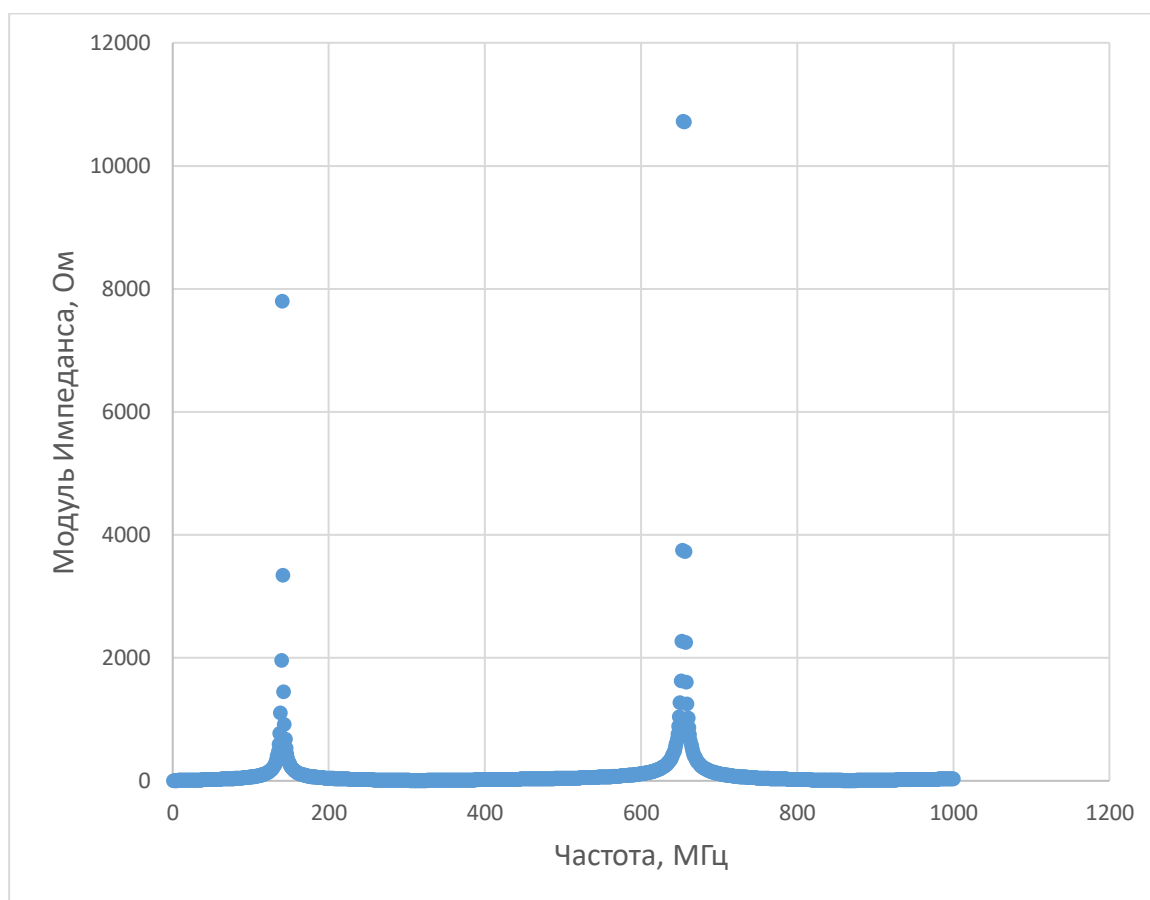


Рис.8 теоретическая АЧХ лазера с вводом

Первый пик 140 МГц, 7790 Ом, второй пик 655 МГц, 10719 Ом. Видно, что наблюдается весьма неплохое совпадение по частотам, но второй пик определён с погрешностью модуля импеданса менее чем в 10%. Отличие результатов моделирование от эксперимента может быть связано с тем, что выбранная методика теоретического моделирования не подходит для работы на частотах второго пика, или же просто не были найдены необходимые параметры, поскольку программе требуется перебирать пять варьируемых переменных в

существенном диапазоне у каждой переменной и нет никаких гарантий, что на выбранном диапазоне могут быть найдены подходящие значения.

6. Вывод

Было проведено теоретическое моделирование волновода лазера с учётом свойство волновода как длинной линии. Было показано, что при наличии должной вычислительной мощности или же более грамотного подбора параметров лазера, используя на начальном этапе моделирования более точные инструменты, есть возможность описать волновод лазера с приемлемой степенью точности.

7. список литературы

1. Карапузиков А.И., Маркелов А.А. Численное моделирование и экспериментальные исследования высокочастотных трактов волноводных СО₂-лазеров // Приборы и техника эксперимента. - 2019. - N 3. - С. 44-51
2. Волноводные СО₂-лазеры с ВЧ возбуждением разработки ИЛФ СО РАН/ООО «Специальные технологии»