

Кафедра радиотехники и электродинамики
наименование кафедры

Саратов 2019 г.

Введение

Электрические волны сверхвысоких частот (СВЧ) имеют обширное применение во всевозможных областях науки и техники. На ранних этапах развития СВЧ устройств были разработаны средства обнаружения воздушных, наземных и морских объектов оценивая их скорость передвижения и координаты расположения. Устройства на сверхвысоких частотах позволяют измерять расстояние до отражающих поверхностей в условиях отсутствия возможности наблюдения в оптическом диапазоне (ночью, в условиях повышенной задымления и пр.). На данный момент радиолокационные методы используют в технологических решениях, например: в металлургии, медицинской диагностики[1].

Значительную роль в предоставлении технической и финансовой производительности систем радиосвязи, радиолокации и радионавигации играют микроэлектронные приборы сверхвысоких частот (СВЧ). Внедрение в технике СВЧ устройств и аппаратуры, основанных на использовании микроэлектронных приборов, которые имеют значительно мелкие габариты и массу, увеличивая надежность в критериях влияния во всевозможных дестабилизирующих моментов. Как правило, устройства СВЧ диапазоны сочетают в себе дискретные нелинейные и линейные составляющие, отрезки линии передачи, объединяющие между собой отдельные составляющие прибора. Не считая того, что некоторые из типов линий передачи применяются в качестве базовых составляющих СВЧ тракта.

Более распространённой технологией в настоящее время является нелинейные нагрузки, к ним можно отнести[2]:

- Частотные преобразователи
- Инверторы
- Устройства бесперебойного питания
- Импульсные источники питания

Изменение в структуре нагрузки основными темами стали качество электроэнергии и снижения уровня гармоник. Вызванные гармониками проблемы приводят к повышению эксплуатационных расходов и снижению качества продукции и производительности. К снижению уровня гармоник необходимо использовать активные и пассивные фильтры гармоник.

Теория оптимизации является эффективным методом во всех направлениях инженерной деятельности, особенно в следующих областях:

- Проектирование систем и их составных частей.
- Планирование и анализ функционирования существующих систем.

- Инженерный анализ и обработка информации.
- Управление динамическими системами.

Согласно ГОСТ 18238-72 линией передачи СВЧ является устройство, которое ограничивает диапазон распространения электромагнитных полей и направляющий поток электромагнитной энергии в заданном направлении. Направление распространения ориентируется на взаимном расположении источника электромагнитных полей и нагрузки в линии передачи. Примером источником электромагнитных полей могут служить генератор, подключенный к линии передачи, приемная антенна или устройство возбуждения линии передачи. Для нагрузки линии передачи можно привести в пример устройство, которое будет преобразовывать электромагнитную энергию (например, в тепло), излучающая (передающая) антенна, входные цепи приемника и т.п.

К СВЧ-устройствам можно отнести следующее:

- Линии передачи
- Преобразователи СВЧ-энергии
- Ответвители
- Фильтры
- Вентили и т.д.

С помощью линии передачи можно осуществить передачу мощности от генератора к нагрузке, трансформирование сопротивления нагрузок и создание резонансных систем (резонаторы, колебательные)[1].

Линии передачи можно квалифицировать на:

- Однородные – это линия передачи, которая заполненная однородной средой.
- Неоднородные – это линия передачи, которая заполненная не однородной средой, иначе говоря, в неоднородных линиях передачи могут существовать как минимум две области с разными электромагнитными свойствами.
- Регулярные – это линия, которая в продольном направлении имеет неизменяемое поперечное сечение и электромагнитные свойства.
- Нерегулярные - это линия, у которой отсутствует одно или несколько условий регулярности.
- Воздушные – линия без диэлектрика.

Нерегулярные линии передачи — это волноведущие системы, конфигурация области поперечного сечения и/или магнитодиэлектрические параметры заполняющей среды которых изменяются вместе с «продольной» пространственной координатой. Нерегулярные линии передачи имеют ряд преимуществ в сравнении с регулярными линиями передачи [3]. В работе [3] излагаются новые эффективные математические модели нерегулярных линий, ориентированные на задачи синтеза функциональных узлов антенно-фидерных

трактов СВЧ методами параметрической оптимизации. Особую сложность для применения данных математических моделей представляет собой задача параметрической оптимизации. Применение современных методов оптимизации, в частности эволюционных и генетических алгоритмов, в рамках предложенных в работе [3] математических моделей, представляет собой актуальную задачу и имеет перспективы в решении задач проектирования устройств СВЧ.

Эволюция в природе показала себя как мощный механизм развития и приспособления живых организмов к окружающей среде и удивляет многообразием и эффективностью решений. Поэтому исследователи в области компьютерных технологий обратились к природе в поисках новых алгоритмов.

Группа алгоритмов, использующих в своей основе идею эволюции Дарвина, называется эволюционными алгоритмами. В ней выделяют следующие направления.

- Генетические алгоритмы.
- Эволюционные стратегии.
- Генетическое программирование.
- Эволюционное программирование.

Генетические алгоритмы применяются для решения таких задач, как:

- поиск глобального экстремума многопараметрической функции,
- аппроксимация функций,
- задачи о кратчайшем пути,
- задачи размещения,
- настройка искусственной нейронной сети,
- игровые стратегии,
- обучение машин.

Фактически, генетические алгоритмы максимизируют многопараметрические функции. Поэтому их область применения столь широка. Все приведенные задачи решаются именно путем формирования функции, зависящей от некоторого числа параметров, глобальный максимум которой будет соответствовать решению задачи.

Согласно теории эволюции Чарльза Дарвина, особи популяции конкурируют между собой за ресурсы и за привлечение брачного партнера. Те особи, которые наиболее приспособлены к окружающим условиям, проживут дольше и создадут более многочисленное потомство, чем их собратья. Скрещиваясь, они будут передавать потомкам часть своего генотипа.

Некоторые дети совместят в себе части цепи ДНК, отвечающие за наиболее удачные качества родителей, и, таким образом, окажутся еще более приспособленными.

Те особи, которые не обладают качествами, способствующими их выживанию, с большой вероятностью не проживут долго и не смогут создать многочисленное потомство. Кроме того, им сложнее будет найти хорошую пару для скрещивания, поэтому с большой вероятностью генотип таких особей исчезнет из генофонда популяции.

Рассматривая эволюцию в природе, возникает мысль о том, что можно искусственно отбирать особи, подходящие нам по некоторым параметрам, создавая, таким образом, искусственные внешние условия. Это называется селекцией и используется людьми для получения новых пород животных, к примеру, дающих больше молока или с более густой шерстью. Но почему бы не устроить собственную эволюцию с помощью компьютера? Действительно, пусть есть функция, которая по заданному набору численных параметров возвращает некоторое значение (многопараметрическая функция). Создадим множество строк, каждая из которых будет кодировать вектор чисел (длина вектора равна количеству параметров функции). По заданному вектору можно высчитать соответствующее ему значение функции. Те строки, для которых это значение велико, будем считать более приспособленными, чем те, для которых оно мало. Запуская эволюцию на строках по подобию природной, на каждом поколении будем получать строки с все большими значениями функции. Таким образом, такого рода эволюция решает задачу максимизации многопараметрической функции.

Целью данной работы является разработка генетического алгоритма для параметрической оптимизации 9-звенного фильтра гармоник (ФГ) на нерегулярных линиях передачи, рассмотренного в публикации [3].

Для достижения поставленной цели решались задачи:

- Реализация целевой функции (функции выживаемости) для ФГ на нерегулярных линиях на основе формул (1.1-1.3) публикации [3].
- Разработка вариантов скрещивания и мутации особей популяции, позволяющих реализовать параметризацию ФГ путем применения генетического алгоритма.
- Разработка исходного кода на языке программирования Python, реализующего генетический алгоритм параметрической оптимизации 9-звенного ФГ на нерегулярных линиях.

- Параметрическая оптимизация 9-звенного ФГ на нерегулярных линиях путем использования созданной программы.

1. Фильтр гармоник на нерегулярных линиях

В данной работе будет рассматриваться структура, которая была рассмотрена в работе [3]. Каждый из девяти отрезков фильтра гармоник представляет собой отрезок канонической нерегулярной линии передачи с функцией волнового сопротивления:

$$\rho_n(z) = \rho_n(0) \left(ch \left(\sqrt{k_n} \frac{z}{l_n} \right) + \frac{\sqrt{\frac{\rho_n(l)}{\rho_n(0)} - ch \sqrt{k_n}}}{sh \sqrt{k_n}} sh \left(\sqrt{k_n} \frac{z}{l_n} \right) \right)^2 \quad (1.1)$$

Для звеньев с отрицательными k была использована следующая формула:

$$\rho(z) = \rho(0) \left(cos \left(\sqrt{|k|} \frac{z}{l_n} \right) + \frac{\sqrt{\frac{\rho(l)}{\rho(0)} - cos \sqrt{|k|}}}{sin \sqrt{|k|}} sin \left(\sqrt{|k|} \frac{z}{l} \right) \right)^2 \quad (1.2)$$

Здесь k – константа, l – длина отрезка, $\rho(0)$ и $\rho(l)$ – волновые сопротивления на n отрезках.

Функция рабочего затухания вычисляется по формуле:

$$L = 20 \lg |T_{11}| \quad (3.3),$$

где T_{11} – элемент волновой матрицы передачи, который можно вычислить

$$2T_{11} = a_{11} \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} + \frac{a_{12}}{\sqrt{\rho_1 \rho_2}} + a_{21} \sqrt{\rho_1 \rho_2} + a_{22} \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}} \quad (1.4)$$

Где a_{11} , a_{12} , a_{21} и a_{22} – элементы матрицы передачи отдельных звеньев структуры. Элементы матриц можно вычислить следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} (a_{11})_n = \sqrt{\frac{\rho_n(l)}{\rho_n(0)}} \left[\cos \beta_n l_n - \frac{N_n(l)}{\beta_n} \sin \beta_n l_n \right] \\ (a_{12})_n = i \sqrt{\rho_n(l) \rho_n(0)} \left[\frac{N_n(l) - N_n(0)}{\beta_0} \cos \beta_n l_n + \frac{\beta_n^2 + N_n(0) N_n(l)}{\beta_n \beta_0} \sin \beta_n l_n \right] \\ (a_{21})_n = \frac{i \beta_0}{\beta_n \sqrt{\rho_n(l) \rho_n(0)}} \sin \beta_n l_n \\ (a_{22})_n = \sqrt{\frac{\rho_n(0)}{\rho_n(l)}} \left[\cos \beta_n l_n - \frac{N_n(0)}{\beta_n} \sin \beta_n l_n \right] \end{array} \right.$$

Где $\beta_n = \beta_0 \sqrt{1 - \frac{k_n}{(\beta_0 l_n)^2}}$; $\beta_0 l_n = 2\pi \frac{l_n F}{\lambda_0 F_0}$

$$N_n(0) = \frac{\sqrt{k_n} \sqrt{\rho_n(l)/\rho_n(0)} - ch \sqrt{k_n}}{l_n sh \sqrt{k_n}}, N_n(l) = \frac{\sqrt{k_n} \sqrt{\rho_n(l)/\rho_n(0)} ch \sqrt{k_n} - 1}{l_n \sqrt{\rho_n(l)/\rho_n(0)} sh \sqrt{k_n}}$$

В работе [3] были получены параметры ФГ для данного случая, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Параметры ФГ на нерегулярных линиях передачи, приведённые в работе [3].

№ звена	k	l	$\rho(0)/\rho_0$	$\rho(l)/\rho_0$
1	3.618	0.1194	0.752	0.752
2	-0.272	0.0814	1.4	1.4
3	4.213	0.1164	0.505	0.505
4	-0.272	0.0824	1.4	1.4
5	3.954	0.1144	0.46	0.46
6	-0.272	0.0844	1.4	1.4
7	4.213	0.1164	0.505	0.505
8	-0.272	0.0804	1.4	1.4
9	3.616	0.1184	0.752	0.752

Функция волнового сопротивления, построенная по формулам (1.1)-(1.2) при использовании параметров из таблицы 1 приведена на рис. 1.1. При использовании данных параметров функция рабочего затухания, вычисленная по формуле (1.3) имеет вид, приведённый на рис. 1.2, для сравнения, на рис. 1.3. приводится функция рабочего затухания для ФГ на регулярных линиях

передачи. Графики, приведённые на рис. 1.1. и рис. 1.2. были получены с помощью написанного в рамках реализации данной работы программного модуля языке Python, реализующего формулы (1.1)-(1.3). Исходный использованного программного модуля приведён в **Приложении 1**.

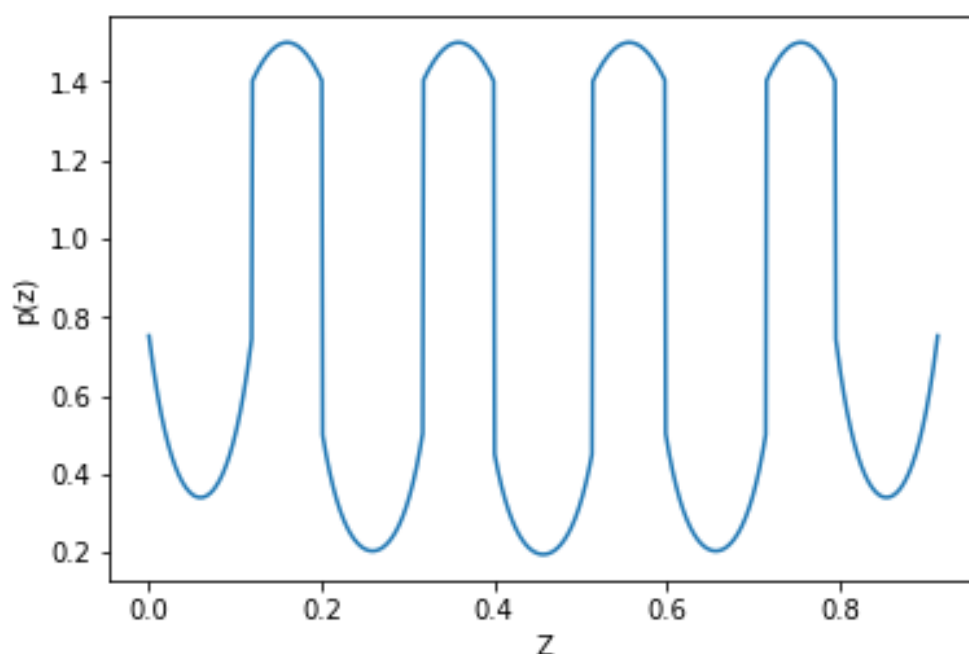
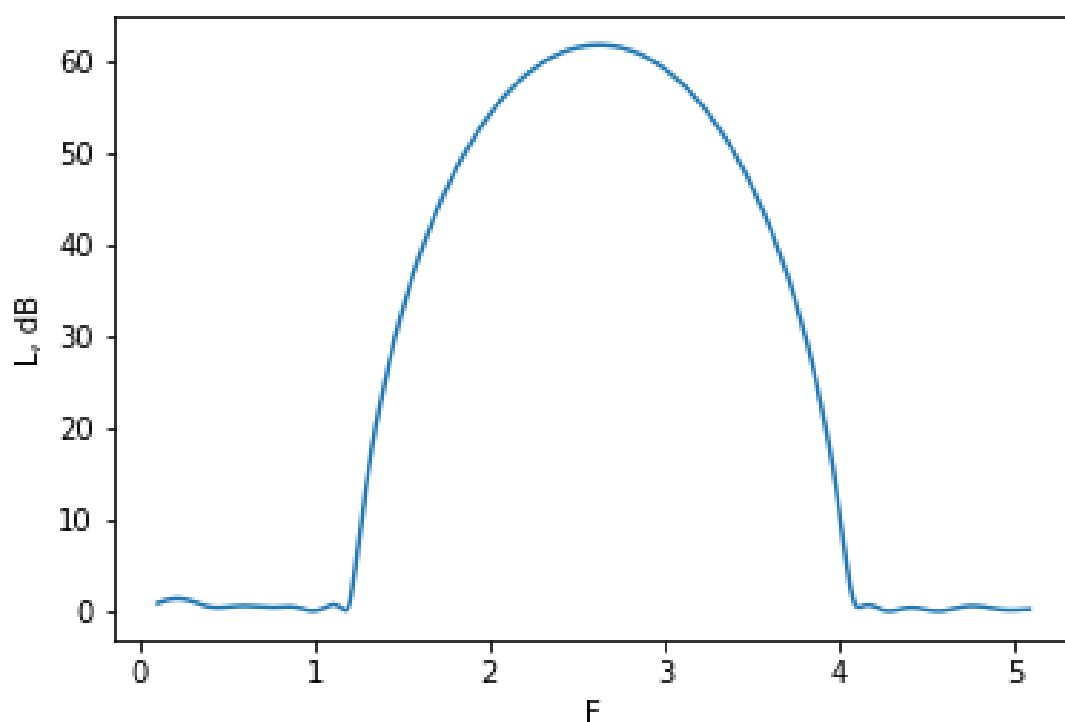
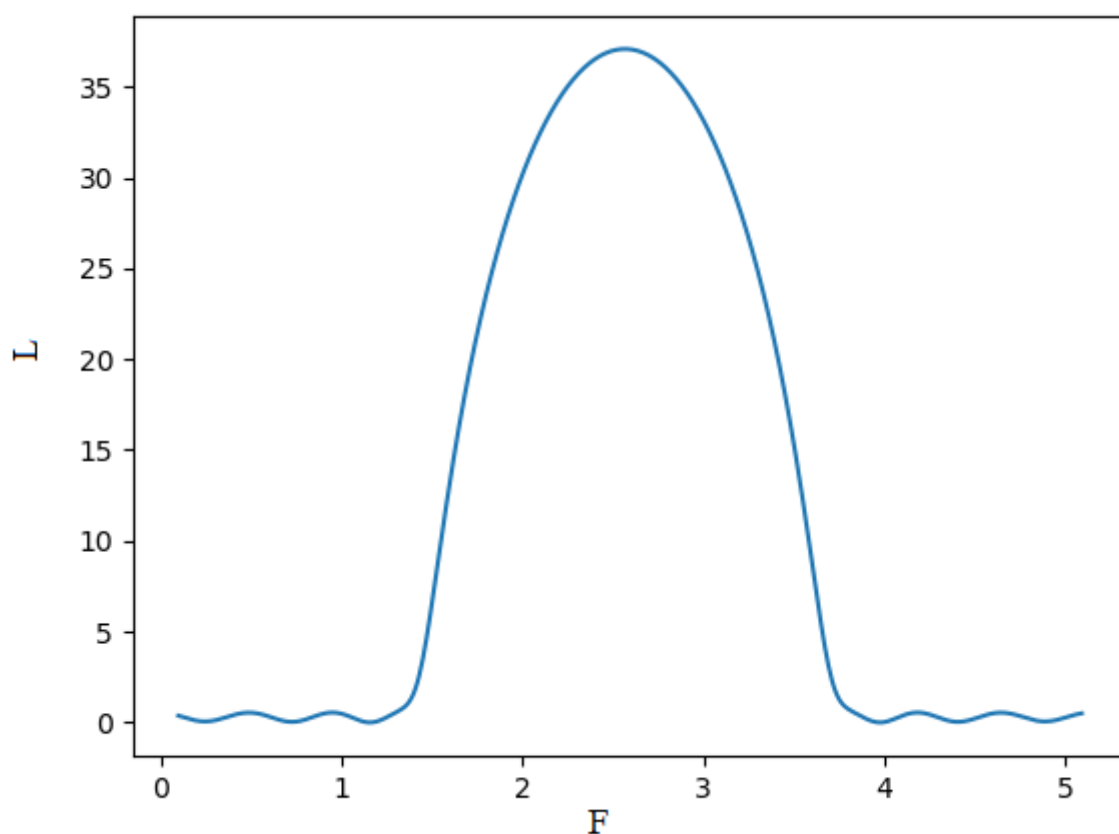


Рис. 1.1. Функция волнового сопротивления ФГ 9-звенного фильтра гармоник, при использовании параметров из таблицы



1.

Рис.1.2. Функция рабочего затухания 9-звенного ФГ на нерегулярных линиях передачи из работы[3].



ис.1.3. Функция рабочего затухания 9-звенного ФГ на регулярных линиях передачи из работы[3].

2. Результаты

На основе описанных в предыдущем разделе программных модулей было создано приложение, осуществляющее параметрическую оптимизацию 9-звенного ФГ на нерегулярных линиях. Для осуществления моделирования генерировалась исходная популяция, размер которой составлял 15000 особей, эволюция данной популяции моделировалась на протяжении 100 итераций. В процессе моделирования целевая функция увеличивалась. В результате была получена особь, имеющая характеристики, приведённые в таблице 2. На рис. 4.1. приведена функция волнового сопротивления для ФГ, параметры которого

приведены в таблице 2. На рис. 4.2. приведена функция рабочего затухания полученного в результате оптимизации ФГ. Полученная функция рабочего затухания превосходит результаты, полученные в работе [3] для фильтра гармоник на регулярных линиях (рис. 1.3), но не превосходит результаты, полученные в работе [3], полученные для фильтра гармоник для нерегулярных линиях передачи.

Таблица 2. Результаты оптимизации ФГ на нерегулярных линиях в рамках разработанного генетического алгоритма.

№ звена	k	l	$\rho(0)/\rho_0$	$\rho(l)/\rho_0$
1	2.91090881	0.10630114	0.64925741	0.64925741
2	-0.62167554	0.09694949	1.40223306	1.40223306
3	2.53712988	0.10446304	0.83890891	0.83890891
4	-0.62516413	0.10090792	1.21160225	1.21160225
5	2.04714532	0.10913935	0.56080121	0.56080121
6	-0.41879081	0.10908654	1.14917084	1.14917084
7	2.72495847	0.10934096	0.61565395	0.61565395
8	-0.69733801	0.09518516	0.91808217	0.91808217
9	1.82739971	0.10833124	0.4548148	0.4548148

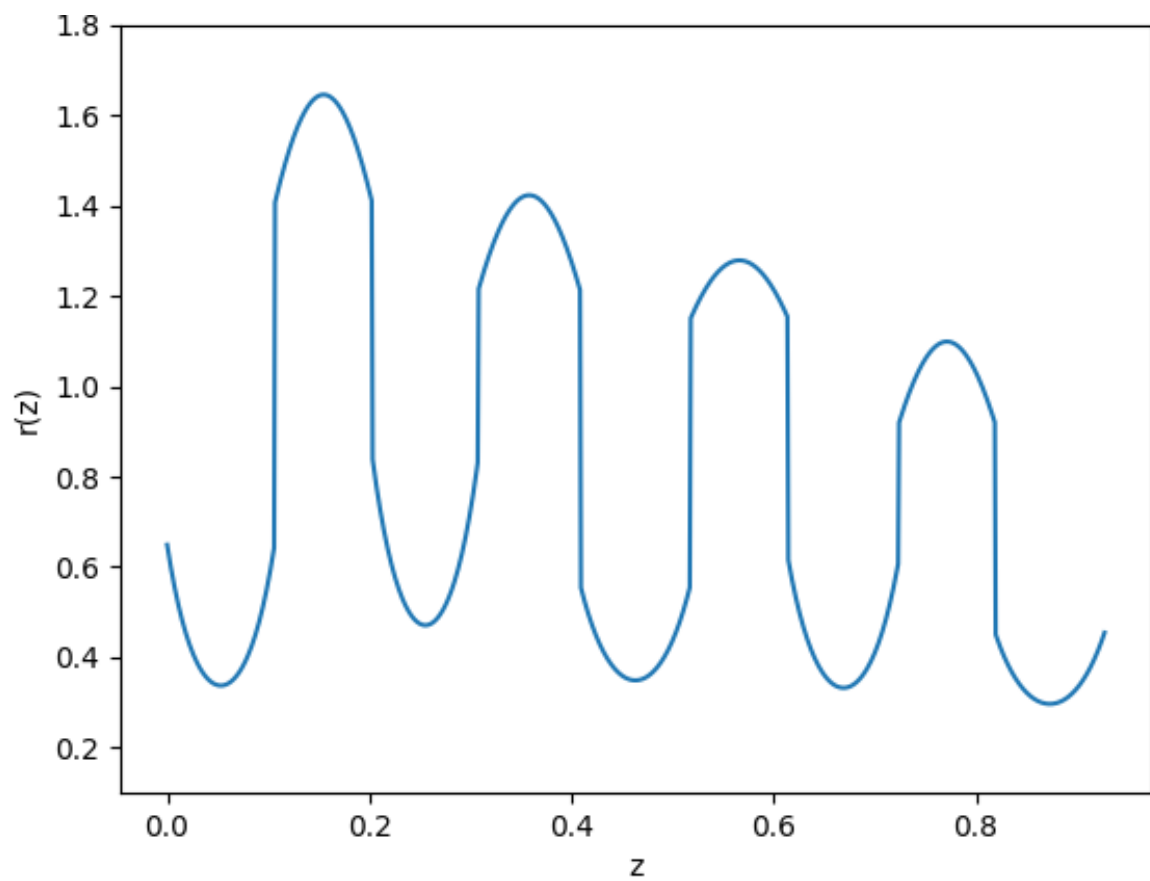


Рис. 4.1. Функция волнового сопротивления для особи, полученной в результате оптимизации при использовании разработанного генетического алгоритма.

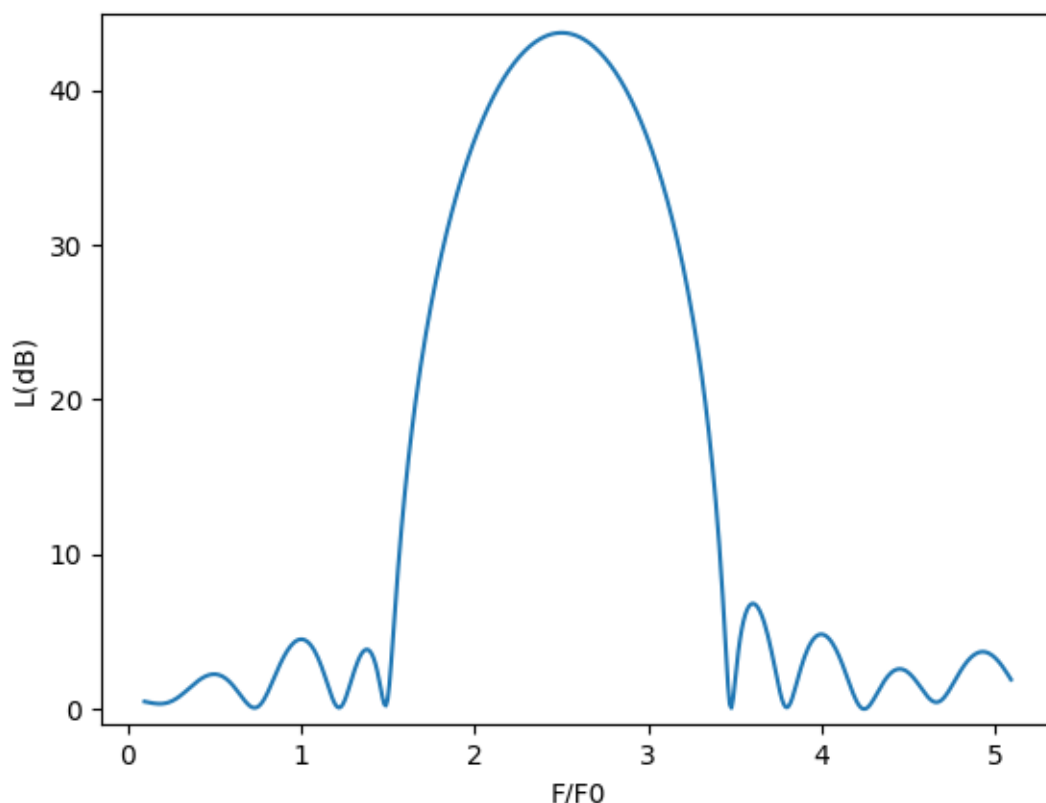


Рис. 4.2. Функция рабочего затухания 9-звенного ФГ на нерегулярных линиях передачи, полученная в результате решения задачи параметрической оптимизации в рамках реализованного генетического алгоритма.

Заключение

В ходе проделанной работы был разработан генетический алгоритм для параметрической оптимизации 9-звенного фильтра гармоник (ФГ) на нерегулярных линиях передачи. Разработанный алгоритм был реализован на языке программирования Python, версии 2.7. Результаты тестирования данного алгоритма показали его работоспособность в рамках рассматриваемой задачи, в частности, функция рабочего затухания для ФГ, полученного как результат оптимизации при использовании разработанного алгоритма, превосходит функцию рабочего затухания для ФГ на регулярных линиях, приведенных в работе [3]. Однако, полученные результаты оказались ниже результатов, полученных в работе [3] для ФГ на нерегулярных линиях. Причина этого связана с недостаточным размером популяции и времени симуляции эволюции в рамках разработанного алгоритма. Для решения данной проблемы в будущем можно будет осуществить реализацию параллельного генетического алгоритма на основе созданного, для осуществления симуляции эволюции с привлечением вычислительных кластеров.