

УДК 621.391.31

**Применение машинного обучения для анализа частотных характеристик
двух связанных дифференциальных пар**

Н.С. Павлов, С.В. Власов

Научный руководитель: к.т.н. Е.С. Жечев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: lukashinka12@gmail.com

**The use of machine learning for analyzing of frequency characteristics
of two coupled differential pairs**

N.S. Pavlov, S.V. Vlasov

Scientific Supervisor: Ph.D. Y.S. Zhechev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenina str., 40, 634050

E-mail: lukashinka12@gmail.com

***Abstract.** Careful computer simulation is more often used in the development of radio-electronic devices. However, that requires significant computational effort and time. The application of machine learning (ML) is becoming important to simplify the analysis of electronic devices characteristics. This paper presents the simulation results and application of ML for frequency response prediction.*

***Key words:** differential pair, machine learning, linear regression, polynomial regression, neural network.*

Введение

При разработке современных радиоэлектронных устройств необходимо тщательно моделировать их характеристики, что требует значительных вычислительных и временных ресурсов [1]. Для упрощения анализа характеристик таких устройств актуально использовать технологию машинного обучения (МО), позволяющую прогнозировать зависимости и параметры устройств [2, 3]. Целью данной работы является создание моделей МО для прогнозирования частотных характеристик двух связанных дифференциальных пар в зависимости от количества витков и длины проводников. В качестве исследуемой структуры выбрана многопроводная микрополосковая линия. Такой выбор обусловлен тем, что в этой области проведено недостаточно исследований.

Материалы и методы исследования

Эквивалентная схема включения и поперечное сечение исследуемой структуры представлены на рис. 1. Геометрические параметры структуры: ширина проводников $w = 170$ мкм, расстояние между проводниками $s = 350$ мкм, расстояние между витками $d = 70$ мкм, высота подложки $h = 101$ мкм, высота проводников $t = 35$ мкм. Диэлектрическая проницаемость подложки $\epsilon_r = 4,5$, тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta_1 = 0,025$. Сопротивление резисторов R составило 100 Ом. Для исследования характеристик структуры использован квазистатический подход, реализованный в системе TALGAT [4].

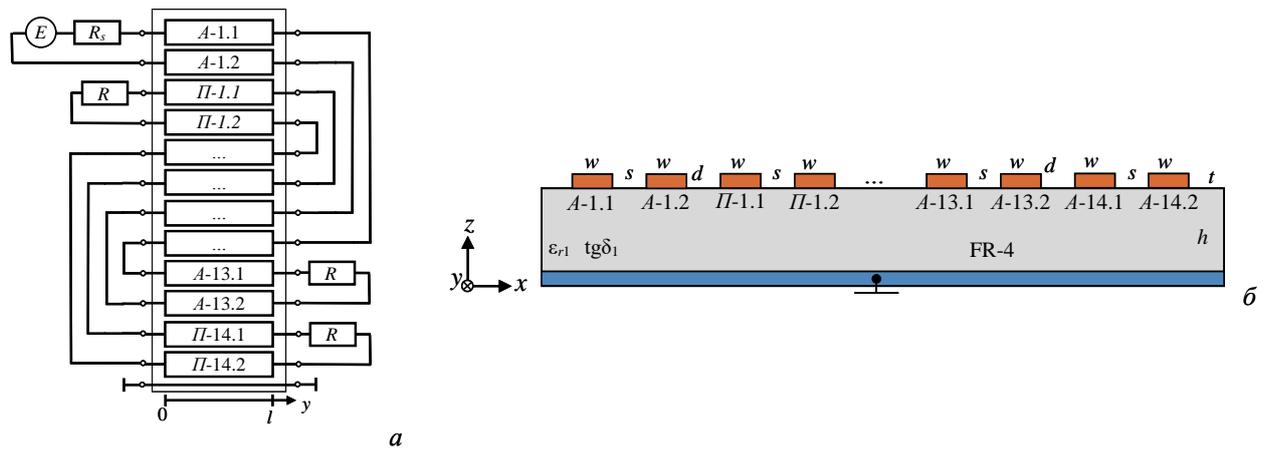


Рис. 1. Эквивалентная схема включения (а) и поперечное сечение (б) исследуемой структуры

Результаты моделирования

В результате моделирования получены графики зависимостей частоты среза (рис. 2(а)), среднего значения S_{21} в полосе заграждения (рис. 2(б)), максимального значения S_{41} (рис. 2(в)) и S_{11} (рис. 2(г)) в полосе пропускания от количества витков k и длины проводников l .

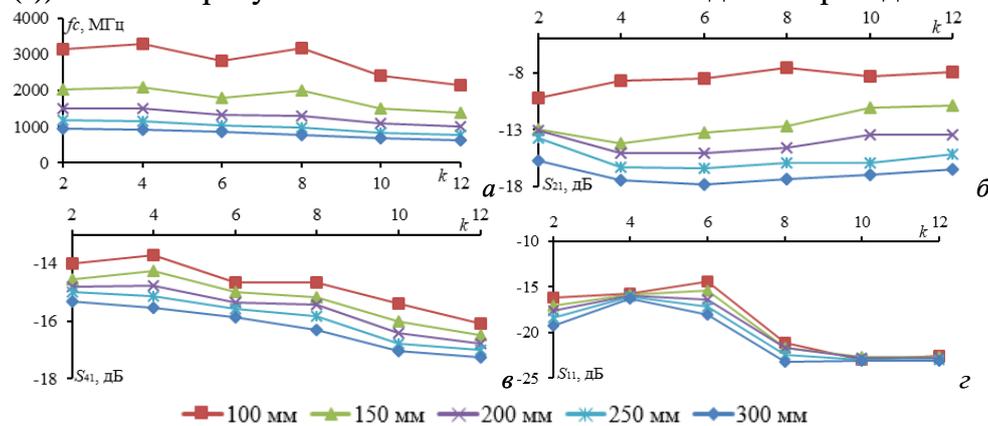


Рис. 2. Графики зависимостей частоты среза (а), среднего значения S_{21} в полосе заграждения (б), максимального значения S_{41} (в) и S_{11} (г) от количества витков и длины проводников

Из графиков видно, что полоса пропускания и максимальное значение S_{41} характеризуются практически линейным уменьшением с увеличением количества витков, в то время как среднее значение S_{21} и максимальное значение S_{11} характеризуются нелинейным распространением.

Описание моделей МО

Для прогнозирования частотных характеристик двух связанных дифференциальных пар использованы три модели МО. Их обучение проводилось на основе полученных результатов моделирования. В качестве первой модели использована модель линейной регрессии, которая использует зависимую переменную для прогнозирования будущих результатов на основе одной или нескольких независимых переменных. В качестве второй модели использована модель полиномиальной регрессии, использующая модель линейной регрессии для обучения на нелинейных данных путем добавления дополнительных нелинейных функций к обучающим данным. При этом, модели линейной и полиномиальной регрессии являются простыми, поэтому их обучение проводилось практически мгновенно. В качестве третьей модели использована модель нейронной сети, которая имеет один входной, скрытый и выходной слои, количество нейронов в скрытом слое – 128. Обучение модели проводилось

с помощью центрального процессора AMD Ryzen 9 7900X и составило 50000 эпох, а время обучения 2 минуты и 13 секунд.

Результаты прогнозирования

В таблице 1 представлено сравнение результатов прогнозирования моделей с истинными значениями. Под истинными значениями были приняты результаты ранее проведенного моделирования.

Таблица 1

Сравнение предсказанных и истинных частотных характеристик двух дифференциальных пар

k l , мм	Среднее значение S_{21} в полосе пропускания, дБ				Полоса пропускания f_c , МГц			
	1 модель	2 модель	3 модель	Истинное	1 модель	2 модель	3 модель	Истинное
2 витка 275	-15,01	-15,17	-15,15	-15,04	1113,33	1059,96	1057,78	1080
4 витка 120	-14,32	-14,19	-13,91	-13,79	2504,53	2612,82	2742,94	2730
8 витков 185	-15,65	-15,58	-15,38	-15,29	1626,93	1398,24	1481,72	1600
12 витков 210	-16,69	-16,88	-16,84	-16,6	1139,73	941,61	958,51	980
	Среднее значение S_{21} в полосе заграждения, дБ				Среднее значение S_{11} в полосе пропускания, дБ			
2 витка 275	-16,95	-14,41	-14,73	-14,49	-16,49	-18,66	-18,81	-17,95
4 витка 120	-10,62	-11,71	-12,31	-11,97	-16,71	-14,61	-15,92	-15,76
8 витков 185	-12,86	-14,01	-13,92	-14,26	-20,22	-20,69	-21,59	-21,48
12 витков 210	-13,51	-13,42	-13,52	-13,43	-23,41	-22,65	-22,86	-22,84

Из таблицы 1 видно, что наихудшие результаты прогнозирования наблюдаются у первой модели. Наиболее точно прогнозируют характеристику вторая и третья модели.

Заключение

В результате проведенного исследования выявлена возможность прогнозирования частотных характеристик двух связанных дифференциальных пар с помощью МО. Выявлено, что для наиболее точного прогнозирования оптимально использовать модели полиномиальной регрессии и нейронной сети.

Работа выполнена в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

Список литературы

1. Назаренко К.М., Назаренко Е.С., Надыкто А.Б., Кириллова Л.Н. Вычислительная среда для компьютерного моделирования наносистем. Система подготовки и обработки данных // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2016. – № 10. – С. 17–23.
2. Afacan E., Lourenço N., Martins R., Dündar G. Machine learning techniques in analog/RF integrated circuit design, synthesis, layout, and test // Integration. – 2021. – Т. 77. – P.113–130.
3. Guan Z., Zhao P., Wang X., Wang G. Modeling radio-frequency devices based on deep learning technique // Electronics. – 2021. – Vol. 10, № 14. – P. 1710.
4. Куксенко С.П., Заболоцкий А.М., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Р. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – Т. 2, № 36. – С. 45–50.