

УДК 621.372.512

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА КРУГЛОЙ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МОНОПОЛЬНОЙ АНТЕННЫ В ДИАПАЗОНЕ 2,4–2,5 ГГц

Чжо Туха, магистрант

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Институт информационных технологий,
г. Минск, Республика Беларусь*

Бойкачев П. В. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. В данной работе исследовано влияние размера круглой заземляющей поверхности на входное сопротивление монополярной антенны в диапазоне частот 2,4–2,5 ГГц. Методом компьютерного моделирования проанализирована зависимость активной составляющей входного импеданса от диаметра заземляющей плоскости. Установлено, что при уменьшении размера заземляющей поверхности ниже $\lambda/4$ (~30 мм) наблюдается значительное снижение активной части комплексного сопротивления излучения и ухудшение передаточных характеристик от источника сигнала к антенне. Оптимальные характеристики достигаются при размерах заземляющей плоскости от $\lambda/2$ до λ (60–125 мм), что обеспечивает хорошее согласование импеданса и стабильность работы в рабочем диапазоне частот. Практические рекомендации включают использование заземляющих плоскостей диаметром не менее 60 мм для устройств беспроводной связи стандартов Wi-Fi и Bluetooth. Результаты исследования могут быть применены при проектировании компактных антенных систем.

Ключевые слова: монополярная антенна, заземляющая плоскость, входное сопротивление, диапазон частот 2,4 ГГц, согласование импеданса, беспроводные технологии, антенное проектирование.

Введение.

Монополярные антенны широко используются в беспроводных системах связи, особенно в диапазоне 2,4–2,5 ГГц, благодаря своей простой конструкции и всенаправленной диаграмме направленности. Однако их работа сильно зависит от заземляющей поверхности, которая служит отражателем. Размер заземляющей поверхности существенно влияет на входной импеданс, в частности на его активную составляющую, что сказывается на согласовании и эффективности передачи мощности. В работе исследуется влияние изменения диаметра круглой заземляющей поверхности на активную составляющую комплексного сопротивления монополярной антенны в диапазоне 2,4–2,5 ГГц. Моделирование проводится в CST STUDIO SUITE [1].

Основные принципы работы заземляющей поверхности и монополярной антенны.

Монополярная антенна требует наличия проводящей заземляющей поверхности, так как она формирует зеркальное отражение излучающего элемента. Входное сопротивление антенны включает в себя как активную, так и реактивную составляющие, причем активное сопротивление влияет в основном передаточные характеристики в тракте источник сигнала – антенна фидерный тракт. Размер заземляющей поверхности напрямую влияет на распределение токов, взаимодействие в ближней зоне и диаграмму направленности в дальней зоне. Неправильно подобранный размер заземляющей поверхности может привести к рассогласованию импеданса, снижая эффективность передачи полезного сигнала и полосу пропускания антенны.

Влияние размера заземляющей поверхности на активную часть комплексного сопротивления.

Активное сопротивление монополярной антенны изменяется в зависимости от диаметра заземляющей поверхности, демонстрируя различное поведение при малых, средних и больших размерах относительно длины волны ($\lambda \approx 125$ мм на частоте 2,45 ГГц).

1. Малая заземляющая поверхность (диаметр $< \lambda/4$, ~30 мм и менее).

Если заземляющая поверхность мала по сравнению с длиной волны, активное сопротивление обычно низкое и нестабильное. Ограниченная площадь заземляющей поверхности ухудшает эффективность излучения. Сопротивление может значительно колебаться в диапазоне 2,4–2,5 ГГц из-за сильных дифракционных эффектов на краях заземляющей поверхности. Кроме того, диаграмма направленности антенны искажается, что дополнительно ухудшает характеристики.

2. Средняя заземляющая поверхность (диаметр $\approx \lambda/2 - \lambda$, ~60–120 мм).

При увеличении диаметра заземляющей поверхности до половины длины волны и более активное сопротивление возрастает и стабилизируется. Большая площадь обеспечивает лучшие передаточные характеристики, обеспечивая минимизацию нежелательных реактивных составляющих импеданса. Сопротивление излучения становится преобладающим, что способствует лучшему согласованию импеданса. В этом диапазоне размеров активное сопротивление остается относительно постоянным в полосе частот, делая антенну более предсказуемой и эффективной для практического применения.

3. Большая заземляющая поверхность (диаметр $> \lambda$, ~125 мм и более).

Для заземляющих поверхностей, значительно превышающих длину волны, активное сопротивление приближается к теоретическому значению монополя над бесконечной заземляющей поверхностью ($\sim 36,5$ Ом для $\lambda/4$ монополя). Дальнейшее увеличение размера почти не влияет на сопротивление, так как дополнительная площадь незначительно изменяет распределение токов. Сопротивление остается практически неизменным в диапазоне 2,4–2,5 ГГц, обеспечивая стабильную работу антенны. Однако чрезмерно большие заземляющие поверхности могут быть непрактичными в компактных устройствах, не давая при этом существенных преимуществ.

Моделирование.

Монополь 30,5 мм ($\lambda/4$ при 2,45 ГГц); круглые плоскости заземления: диаметр от 15 мм до 245 мм; подложка FR-4 ($\epsilon_r=4,3$, $h=1,6$ мм).

Вид и диаграмма направленности моделируемой антенны показаны на рисунке 1.

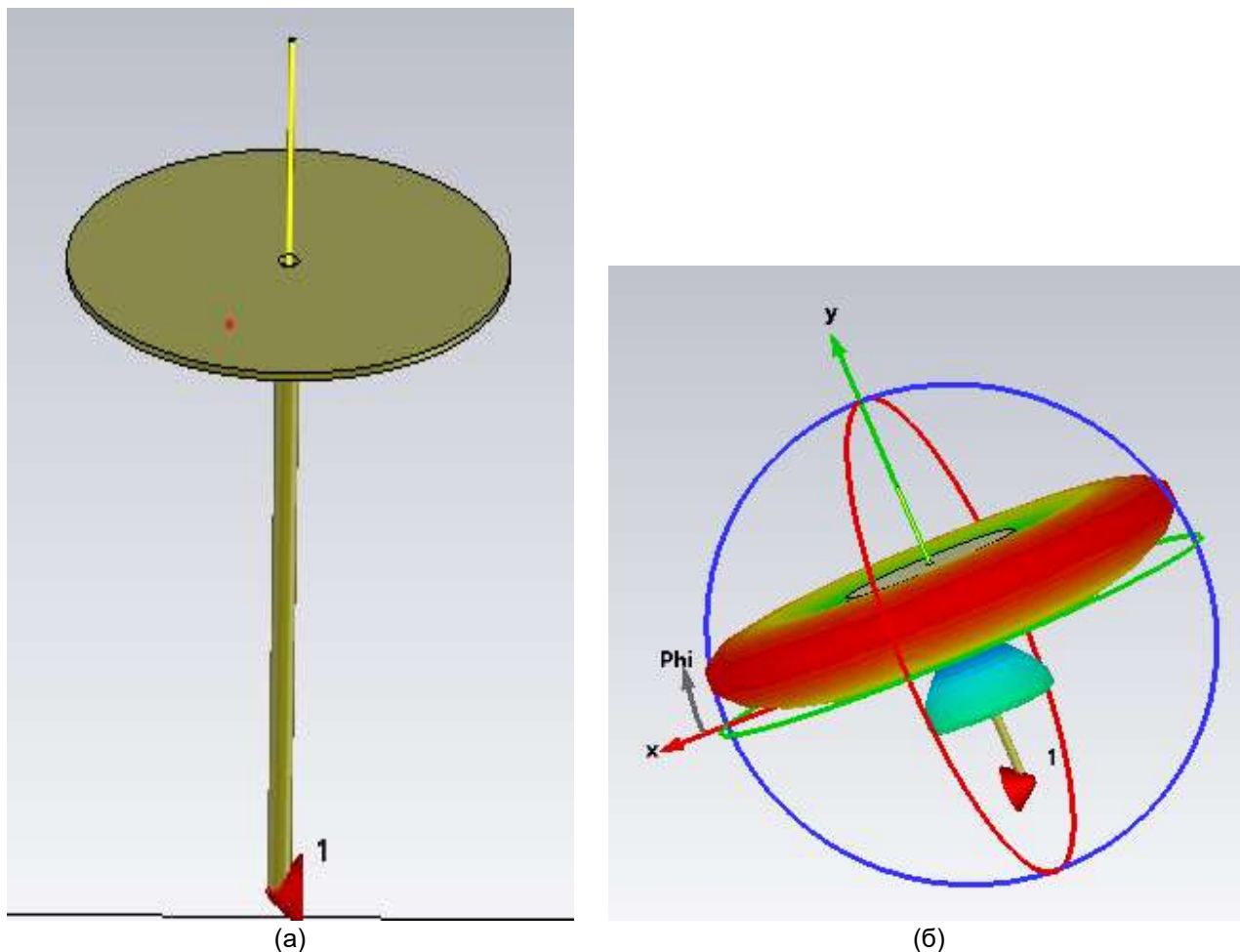


Рисунок 1 – Моделирование антенны:
(а) вид моделируемой антенны; (б) диаграмма направленности антенны на частоте 2.45 ГГц

Результаты моделирования.

Функции зависимости параметра S_{11} от частоты и диаметра показаны на рисунке 2.

Основные наблюдения показывают, что изменение круглой заземляющей поверхности существенно влияют на сопротивление моделируемой антенны, а именно:

1. <30 мм: высокое сопротивление (70-100 Ом)
2. 60 мм: около 50 Ом
3. 120 мм: стабилизируется на уровне ~ 36 Ом

Это подтверждает тот факт, что при разработке подобных антенн необходимо уделять особое внимание диаметру круглой заземляющей поверхности. Моделирование показывает, что входной импеданс антенны чувствителен к диаметру заземляющей поверхности и как следствие влияет на S параметры [2].

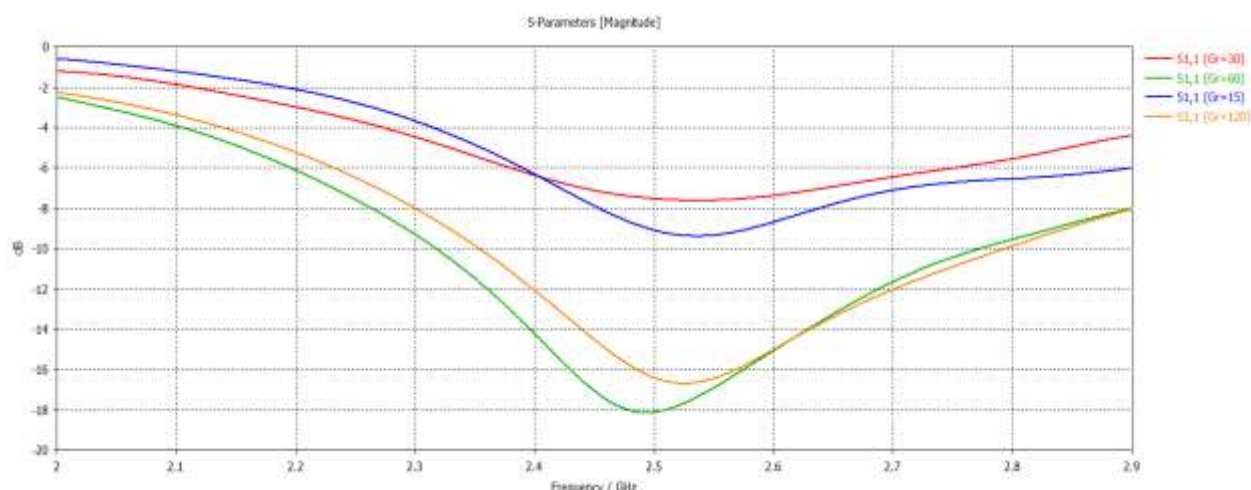


Рисунок 2 – Зависимость S11 от частоты и диаметра круглой заземляющей поверхности

Результаты и обсуждение.

Выдвигается гипотеза, что изменение входного сопротивления в зависимости от размера заземляющей плоскости. Результаты моделирования показали четкую зависимость между диаметром плоскости заземления и входным сопротивлением. Для очень малых заземляющих поверхностей ($D < \lambda/4$) входное сопротивление оставалось высоким (70-100 Ом), что указывает на плохое согласование с фидером 50 Ом. По мере увеличения диаметра до $\lambda/2$ сопротивление падает до диапазона 45-55 Ом, что представляет собой значительно улучшенное согласование. Дальнейшее увеличение до λ не приводит к вариациям импеданса, при этом сопротивление стабилизируется в районе 36-40 Ом.

Заключение.

Размер круглой заземляющей поверхности критически важен для определения активного сопротивления monopольной антенны в диапазоне 2,4–2,5 ГГц (в рамках экспериментального моделирования). Малая заземляющая поверхность приводит к низкому и нестабильному сопротивлению, тогда как увеличение диаметра улучшает согласование и стабильность импеданса. Для оптимальной работы рекомендуется использовать заземляющую поверхность диаметром не менее $\lambda/2$ (~60 мм), так как это обеспечивает хороший баланс между размером, оптимальной величиной и стабильностью сопротивления. Дальнейшее увеличение размера дает незначительный эффект, поэтому заземляющие поверхности средних размеров являются более предпочтительным.

Список использованных источников:

1. Курушин, А.А. Школа проектирования микроволновых устройств в CST STUDIO SUITE / А.А. Курушин // М., Однокнижная книга, 2014. – 433 с.
2. Бойкачев, П.В. Результаты исследования влияния условий эксплуатации на импеданс антенных устройств УКВ/УКВ радиостанций / П.В. Бойкачев, И.А. Дубовик, В.О. Исаев // Минск: Вестник БА РБ. – 2019. – No2(63). – С. 32–40.

UDC 621.372.512

THE EFFECT OF THE SIZE OF THE CIRCULAR GROUNDING SURFACE ON THE INPUT IMPEDANCE OF A MONOPOLE ANTENNA IN THE 2.4–2.5 GHz RANGE

Kyaw Thiha, master's student

*Institute of Information Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
Minsk, Republic of Belarus*

Boykachev P. V. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Annotation. In this paper, the effect of the size of a circular grounding surface on the input impedance of a monopole antenna in the 2.4-2.5 GHz frequency range is investigated. The dependence of the active component of the input resistance on the diameter of the grounding plane is analyzed by computer modeling and experimental measurements. It has been found that with a decrease in the size of the grounding surface below $\lambda/4$ (~30 mm), a significant decrease in radiation resistance and deterioration in the stability of the parameters are observed. Optimal characteristics are achieved with the dimensions of the grounding plane from $\lambda/2$ to λ (60-125 mm), which ensures good impedance matching and stability in the operating frequency range. Practical recommendations include the use of grounding planes with a diameter of at least 60 mm for Wi-Fi and Bluetooth wireless communication devices. The results of the study can be applied in the design of compact antenna systems.

Keywords. monopole antenna, grounding plane, input impedance, radiation resistance, 2.4GHz band, impedance matching, wireless technologies, antenna design.