

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ШТЫРЕВОЙ АНТЕННЫ С ЗАГИБОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФОРМЫ ЗАГИБА

А. Н. Лукьянов, Н. И. Фомичёв, И. А. Винтер

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Статья поступила в редакцию 30 ноября 2015 г.

Аннотация. Проведен анализ характеристик штыревой антенны с загибом в зависимости от формы загиба. Анализировались монополи с загибом и изменяемой линейной частью. Таким образом у нас имеется два этапа моделирования и анализа. Проводилось электродинамическое моделирование в CST Studio Suite. Для ряда конфигураций антенны, отличающихся углом загиба относительно основной части штыря и длиной основной части, были получены частотные зависимости диаграммы направленности, коэффициента усиления, входного сопротивления. Корректность моделирования была проверена путём сравнительного анализа характеристик штыря без загиба, полученных в CST Studio Suite, с теоретическими. Показано, что увеличение угла загиба ведет к смещению максимума входного сопротивления в область низких частот. Продемонстрирована возможность уменьшения габаритов одновременно с улучшением характеристик за счет изменения конструкции антенны, а именно укорочении линейной части. Такая конструкция с уменьшенными габаритами может применяться в качестве автомобильной антенны для частот от 1 до 3 ГГц.

Ключевые слова: Штыревая антенна, штыревая антенна с загибом, анализ характеристик штыревой антенны.

Abstract. Analysis of whip antenna characteristics is carried out according to the bend shape. Monopoles with a bend and variable linear part were analyzed. Thus we have a two-stage modeling and analysis. Electromagnetic simulations were conducted in CST Studio Suite. For a number of antenna configurations differing by bending angle relative to the main portion of the pin and the length of the core, we have obtained frequency dependences of directional diagram, gain, input impedance. The correctness of the modeling was verified by comparative analysis of the characteristics of the probe without bending, obtained in CST Studio Suite, with the

theoretical. It is shown that the increase of the angle of the bend leads to the displacement of the maximum input impedance to low frequencies. The possibility of reducing the size and improving performance by changing the design of the antenna, namely, the shortening of the linear part, is demonstrated. Such a construction with reduced dimensions may be used as a car antenna for frequencies of 1 to 3 GHz.

Key words: whip antenna, whip antenna is folded, the analysis of the characteristics of the antenna whip.

Введение

Для обеспечения устойчивой связи и стабильного доступа в интернет для водителя и пассажиров в зонах с плохим покрытием используются компактные автомобильные 3G и 4G антенны. Для их построения используются различные решения, обеспечивающие круговую диаграмму направленности в горизонтальной плоскости, в том числе и штыревые антенны. Анализируя описанные в литературе и предлагающиеся на рынке конструкции, можно заметить, что размеры многих из них превышают 200 мм, что зачастую неудобно. В то же время в литературе описаны различные способы уменьшения габаритов антенны, например, за счёт введения дополнительной катушки индуктивности, выполненной из тела штыря, или за счёт добавления к основному штырю набора вспомогательных штыревых элементов. Анализ [1 - 3] навёл авторов на мысль о возможности уменьшения габаритов штыревой антенны за счет внедрения в конструкцию антенны концевой загиба. Это позволило бы изменять электрическую длину антенны, не увеличивая при этом её фактической длины. Таким образом, авторы поставили задачу проанализировать влияние формы загиба на излучение и характеристики штыревой антенны в широком диапазоне частот – от 1 до 3 ГГц.

1. Анализ штыревых антенн в зависимости от величины загиба

Особенностью автомобильных антенн является наличие металлической подстилающей поверхности – крыши или багажника автомобиля, которые можно считать очень хорошим проводником. Поэтому в качестве объектов исследования выступали следующие модели антенн: во-первых, базовая

конструкция - штыревая антенна длины 33.2 мм, выполненная из проводника толщиной 2 мм и размещённая на дисковой подложке диаметром 200 мм (см. рис.1), во-вторых, набор исследуемых конструкций, отличающихся от базовой наличием и величиной загнутого участка, изгиб которого выполнялся по дуге окружности внешним диаметром 6 мм (см. рис. 2). Величина загнутого участка может быть охарактеризована углом, характеризующим длину дуги: четверти окружности соответствует 90 градусов (рис. 3), половине – 180 градусов (рис. 2).

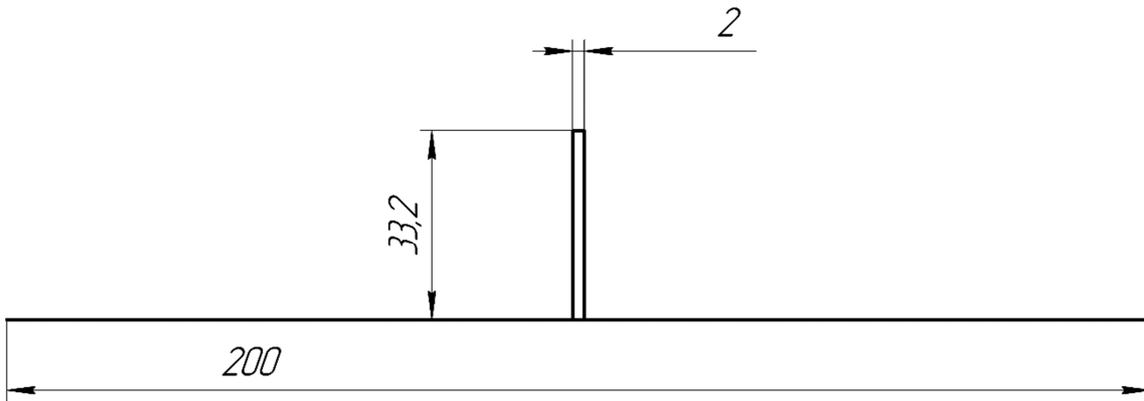


Рис. 1. Чертёж штыревой антенны без загиба

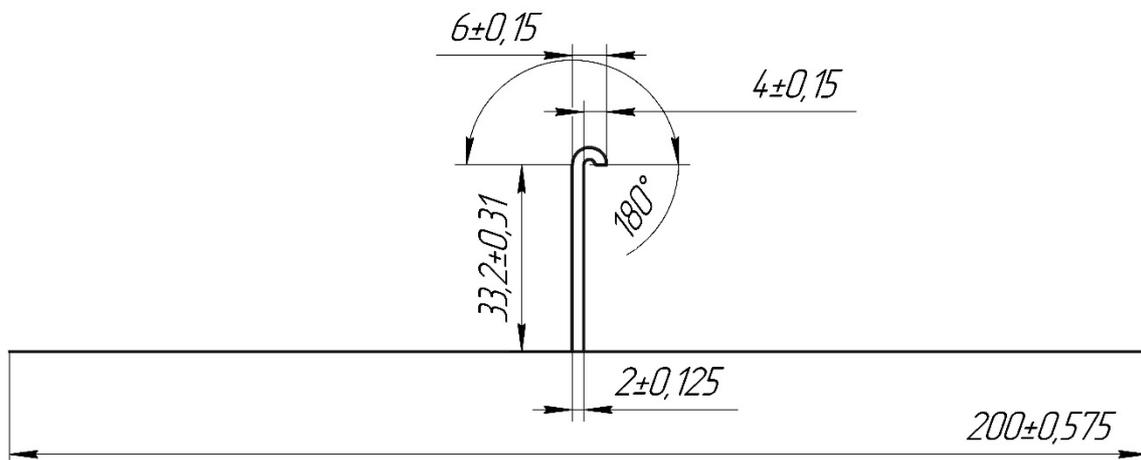


Рис. 2. Чертёж штыревой антенны с загибом 180 градусов

Электродинамическое моделирование осуществлялось в CST Studio Suite [4]. Базовая конструкция была рассчитана как четвертьволновый штырь для частоты 2,1 ГГц. Корректность моделирования была проверена путём сравнительного анализа характеристик штыря без загиба, полученных в CST

Studio Suite, с теоретическими, построенными на основе [5] в MathCad. На рисунке 3 представлена система координат, в которой осуществлялось моделирование, при этом антенна была расположена вдоль оси z , а подстилающая поверхность - параллельна плоскости (x, y) .

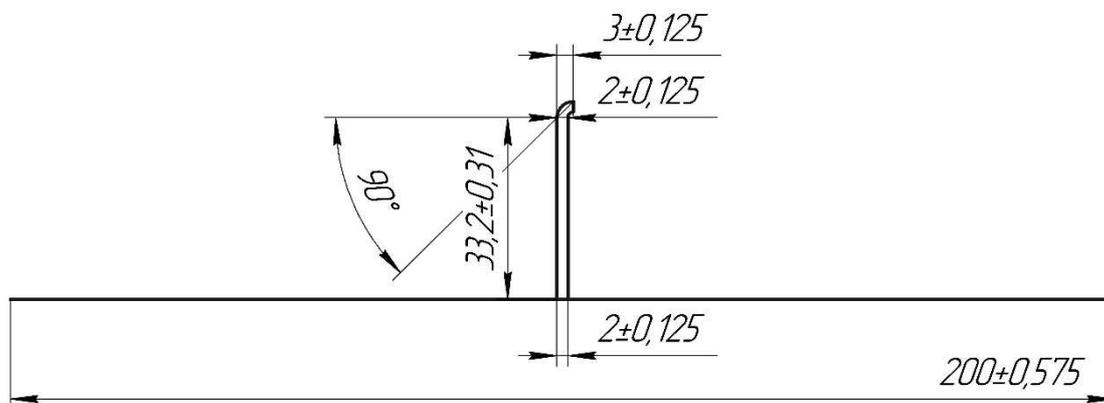


Рис. 3. Чертёж штыревой антенны с загибом 90 градусов

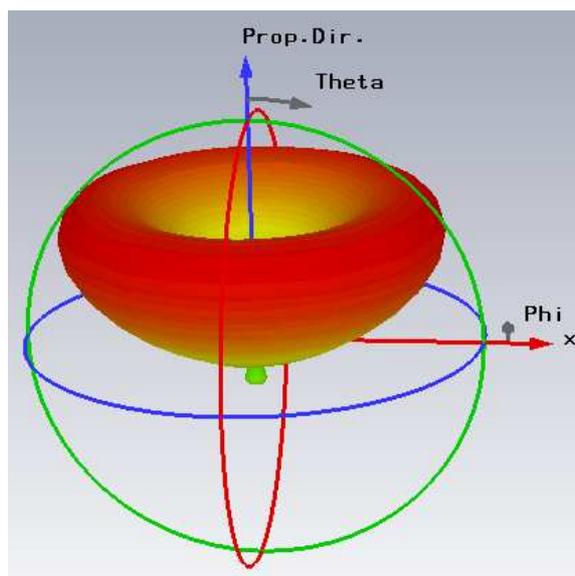


Рис. 4. Расположение антенны относительно системы координат в программе CST

Для ряда конфигураций антенны, отличающихся углом загиба относительно основной части штыря, были получены частотные зависимости диаграммы направленности, коэффициента усиления, входного сопротивления в диапазоне частот от 1 до 3 ГГц.

На рисунках 5 и 6 показаны диаграммы направленности исследуемых антенн в двух плоскостях: на рис. 5 – в плоскости θ (для вертикально

размещённой на подложке антенны – в вертикальной плоскости), на рис. 6 – в плоскости φ (т.е. в горизонтальной плоскости).

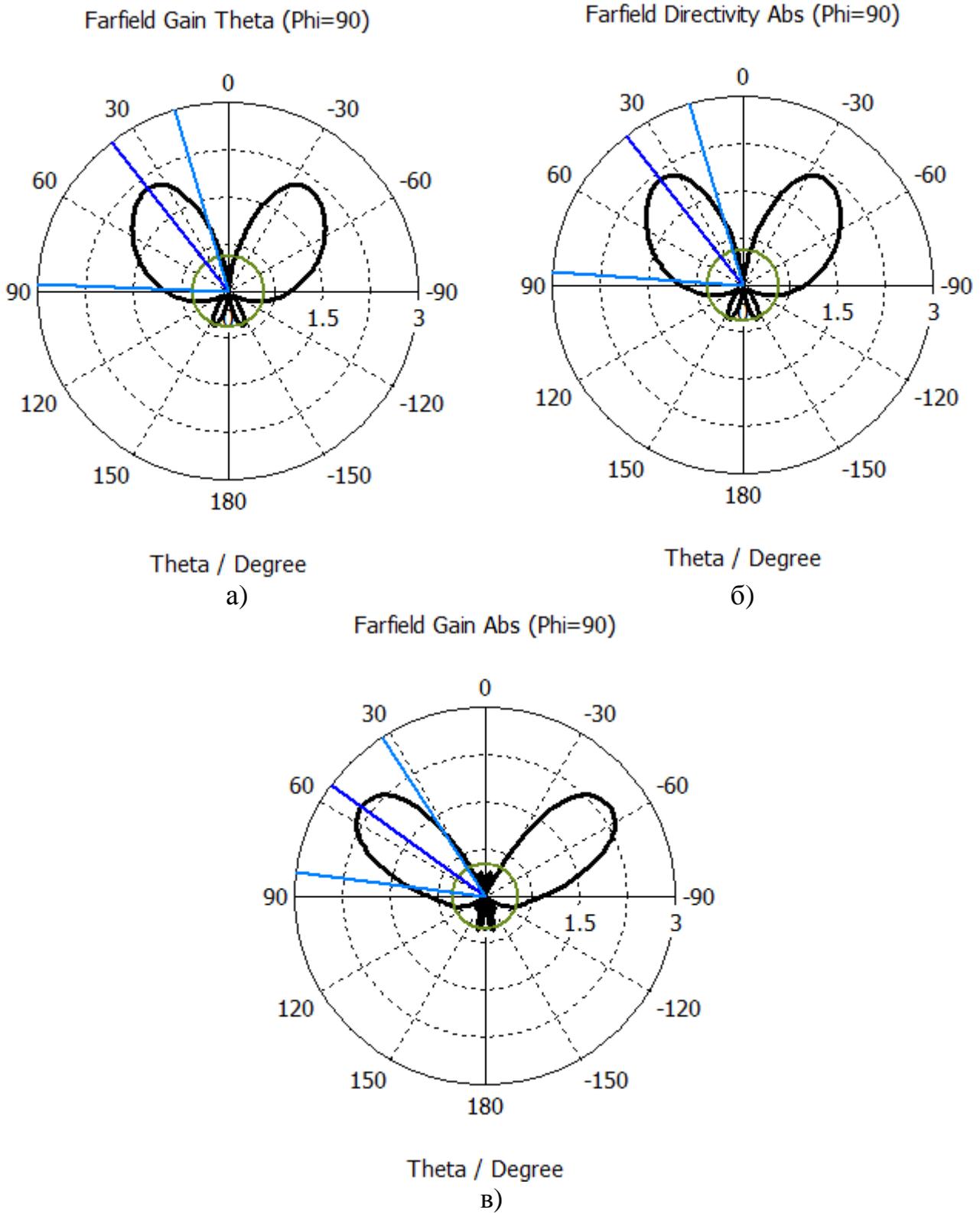


Рис. 5. Диаграмма направленности в плоскости θ (при $\varphi = 90^\circ$): а - штыревая антенна с загибом 180 градусов, б - с загибом 90 градусов, в - без загиба

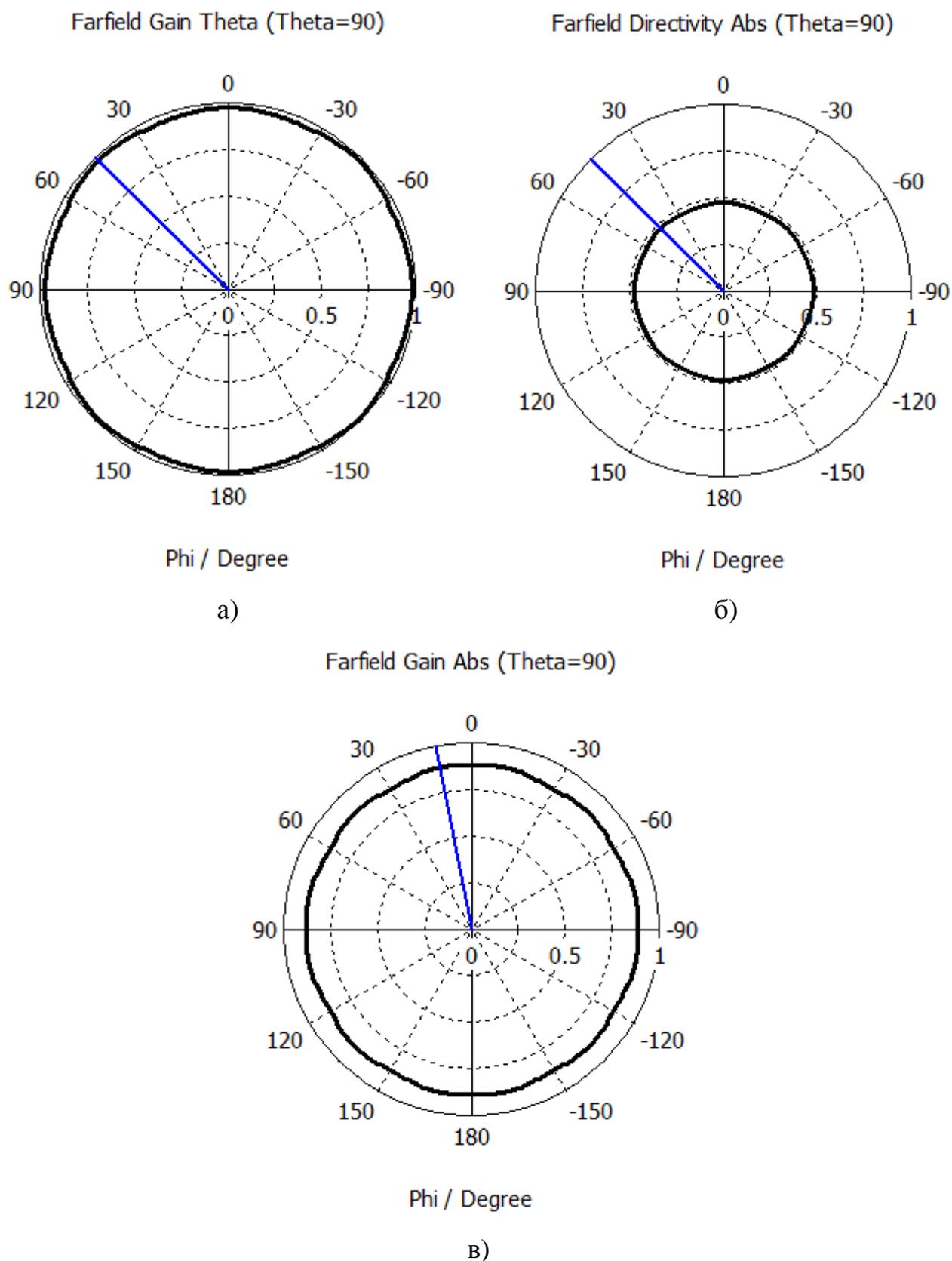


Рис. 6. Диаграмма направленности в плоскости ϕ (при $\theta = 90^\circ$): а - штыревая антенна с загибом 180 градусов, б - с загибом 90 градусов, в - без загиба

В таблице 1 представлены параметры диаграмм направленности всех трёх исследуемых антенн.

Таблица 1. Характеристики антенн

	Диаграмма направленности в плоскости θ			Диаграмма направленности в плоскости φ		
	0°	90°	180°	0°	90°	180°
Угол загиба конца штыря	0°	90°	180°	0°	90°	180°
Максимальный коэффициент усиления, разы	2.41	2.13	2.06	0.544	0.959	0.488
Направление главного лепестка, градус	54.0	-38.0	38.0	11.0	45.0	45.0
Ширина главного лепестка (ЗдБ), градус	49.9	69.6	71.4			
Уровень боковых лепестков, дБ	-6.5	-5.7	-5.6			

Анализируя полученные результаты, можно сказать, что антенна с загибом немного проигрывает простой штыревой антенны в величине коэффициента усиления, что, как видно из таблицы 1, вызвано перераспределением излучения в пространстве: направление главного лепестка изменяется с 53 на -38 градусов, его ширина возрастает с 49.9 до 69.6 – 71.4 дБ, одновременно изменяется и уровень боковых лепестков.

На рис. 7 приведена частотная зависимость коэффициента отражения (параметра S_{11}) для всех трёх антенн: штрихпунктирной линией – для обычного штыря, точечной линией – для штыря с концевым загибом 90 градусов, пунктирной линией – для штыря с загибом 180 градусов. Видно, что рабочая частота антенны по мере увеличения загиба уменьшается. Это происходит из-за изменения эффективной длины антенны. Загиб играет роль индуктивности, что наблюдается на рисунке 7. Если потребуется обеспечить работу антенн на

частоте 2.1 ГГц, то для моделей с загибом фактическую длину антенны следует изменить.

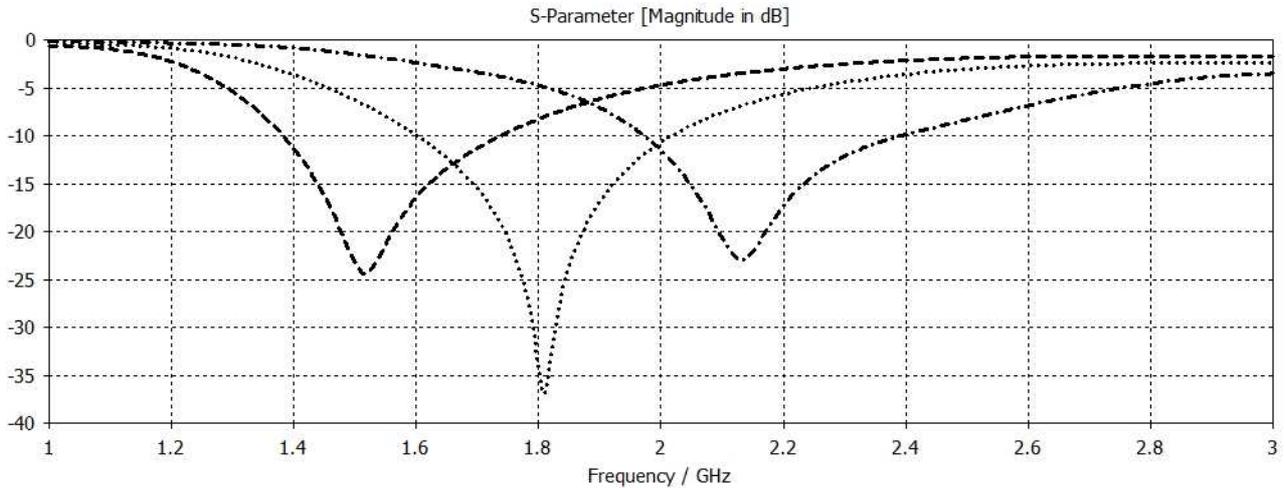


Рис. 7. Модуль коэффициента отражения

Ниже на рисунках 8 и 9 представлены частотные зависимости вещественной и мнимой частей входного сопротивления (в Омах) исследуемых антенн соответственно: штрихпунктирной линией – для обычного штыря, точечной линией – для штыря с концевым загибом 90 градусов, пунктирной линией – для штыря с загибом 180 градусов. Анализируя эти графики, можно заметить, что с увеличением угла загиба действительная часть входного сопротивления увеличивается. В случае загиба 180 градусов на частоте 2,1 ГГц мнимая часть принимает отрицательное значение.

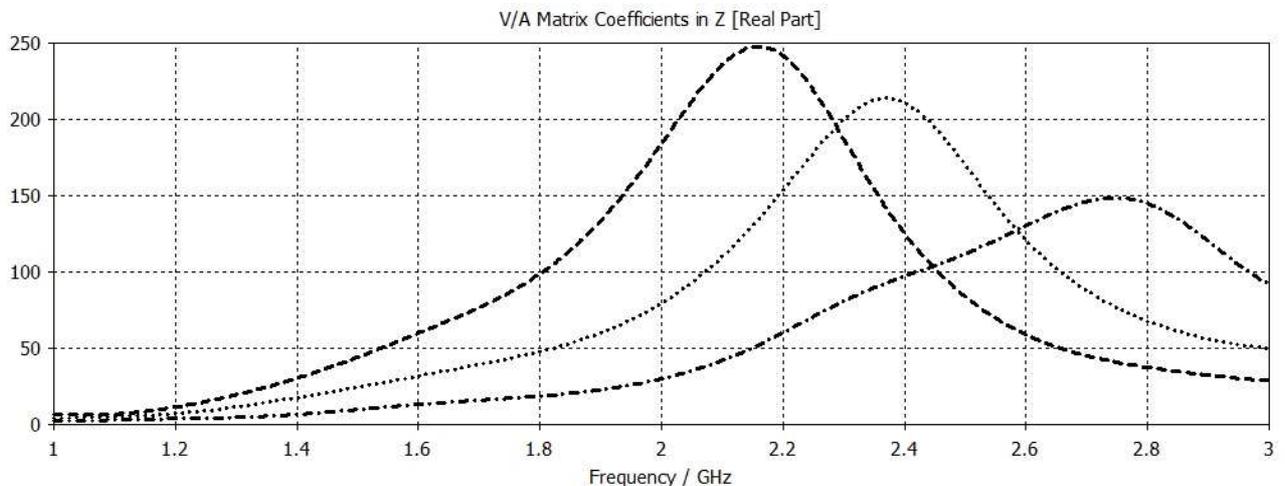


Рис. 8. Действительная часть входного сопротивления

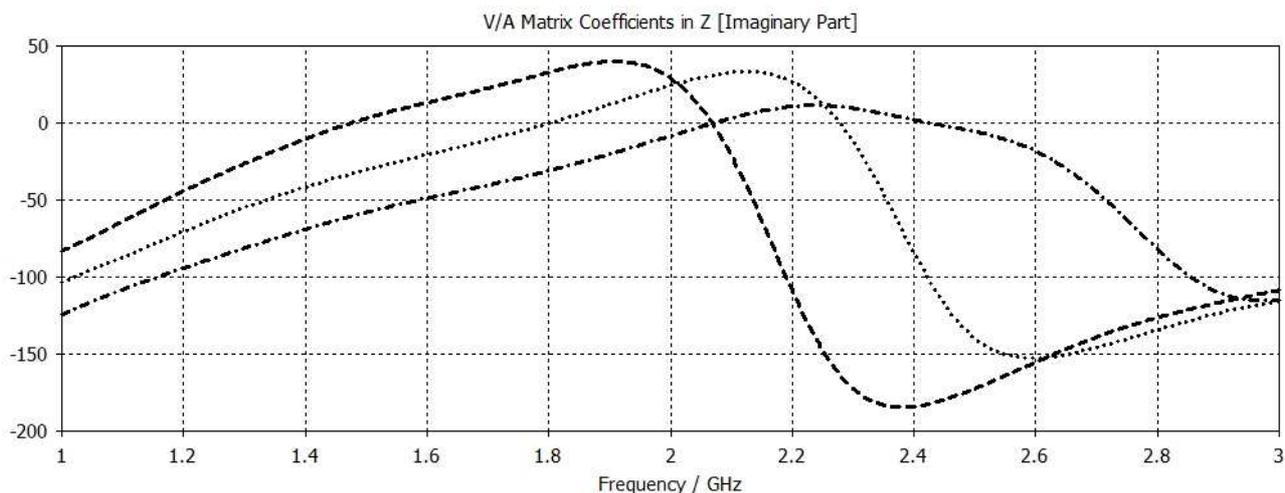


Рис. 9. Мнимая часть входного сопротивления

Как можно заметить, реактивная составляющая имеет различные значения для всех трёх антенн. При этом для штыря с загибом 90 градусов на его резонансной частоте (1.8 ГГц) удалось добиться величины активного сопротивления около 50 Ом и практически нулевого реактивного сопротивления.

Таким образом, исследование на моделях подтвердило возможность управления характеристиками штыревых антенн за счёт изменения конечного загиба, а также возможность обеспечить требуемые характеристики для применения антенн в качестве автомобильных, в частности, получить антенну, выступающую за габариты кузова автомобиля не более чем на 3.5-4.0 мм.

2. Анализ штыревых антенн в зависимости от величины загиба и величины линейной части

На втором этапе в качестве объектов исследования выступали следующие модели антенн: во-первых, базовая конструкция - штыревая антенна длины 33.2 мм, выполненная из проводника толщиной 2 мм и размещённая на дисковой подложке диаметром 200 мм (см.рис.1), во-вторых, набор исследуемых конструкций, отличающихся от базовой наличием и величиной загнутого участка, изгиб которого выполнялся по дуге окружности внешним диаметром 6 мм и изменением линейной части монополя (см. рис. 11 и 12). Величина загнутого участка может быть охарактеризована углом, характеризующим длину дуги: четверти окружности соответствует 90 градусов

(рис. 12), половине – 180 градусов (рис. 11). Величина изменения линейного участка характеризуется выражением $h + H \approx 0.25\lambda$ где h - длина штыря в мм, H - длина загиба по длинной из сторон в мм (рис.10).

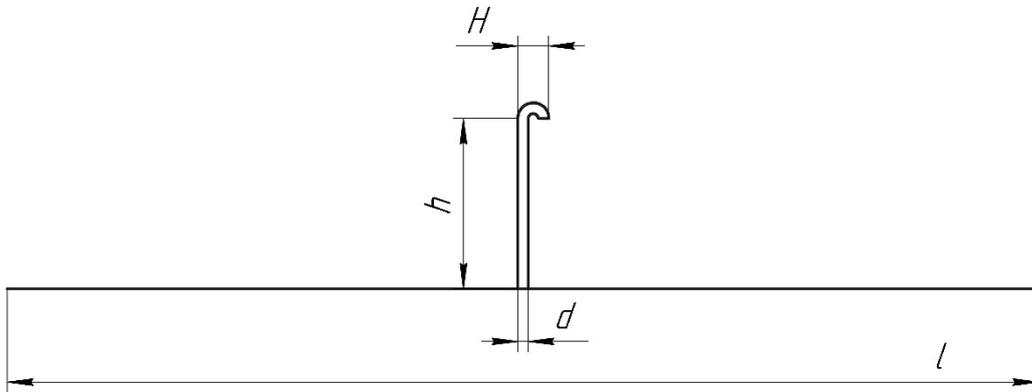


Рис. 10. Чертеж штыревой антенны

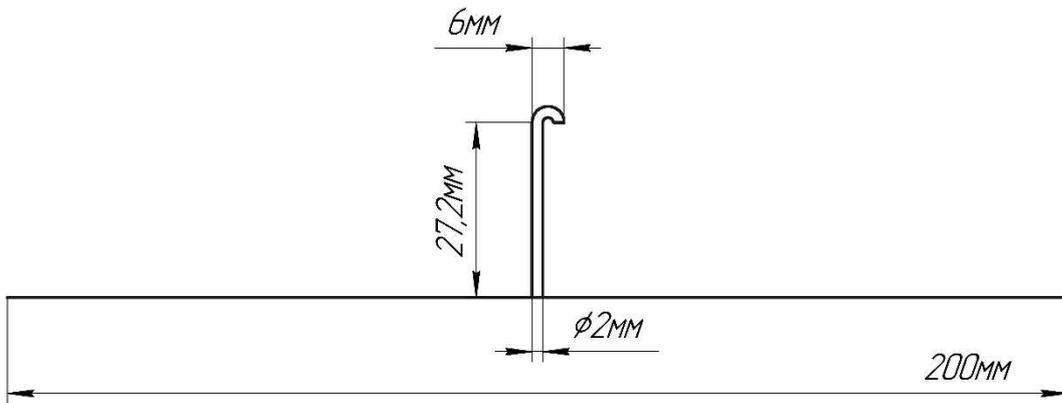


Рис. 11. Чертеж штыревой антенны с загибом в 180°

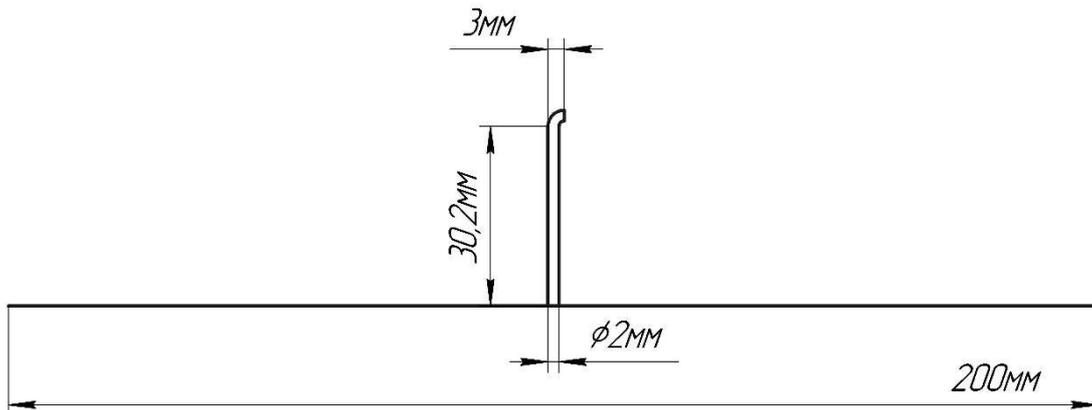


Рис. 12. Чертеж монопольной антенны с загибом в 90°

Базовая конструкция была рассчитана как четвертьволновый штырь для частоты 2,1 ГГц.

Для ряда конфигураций антенны, отличающихся углом загиба и линейной

части штыря, были получены частотные зависимости диаграммы направленности, коэффициента усиления, входного сопротивления в диапазоне частот от 1 до 3 ГГц.

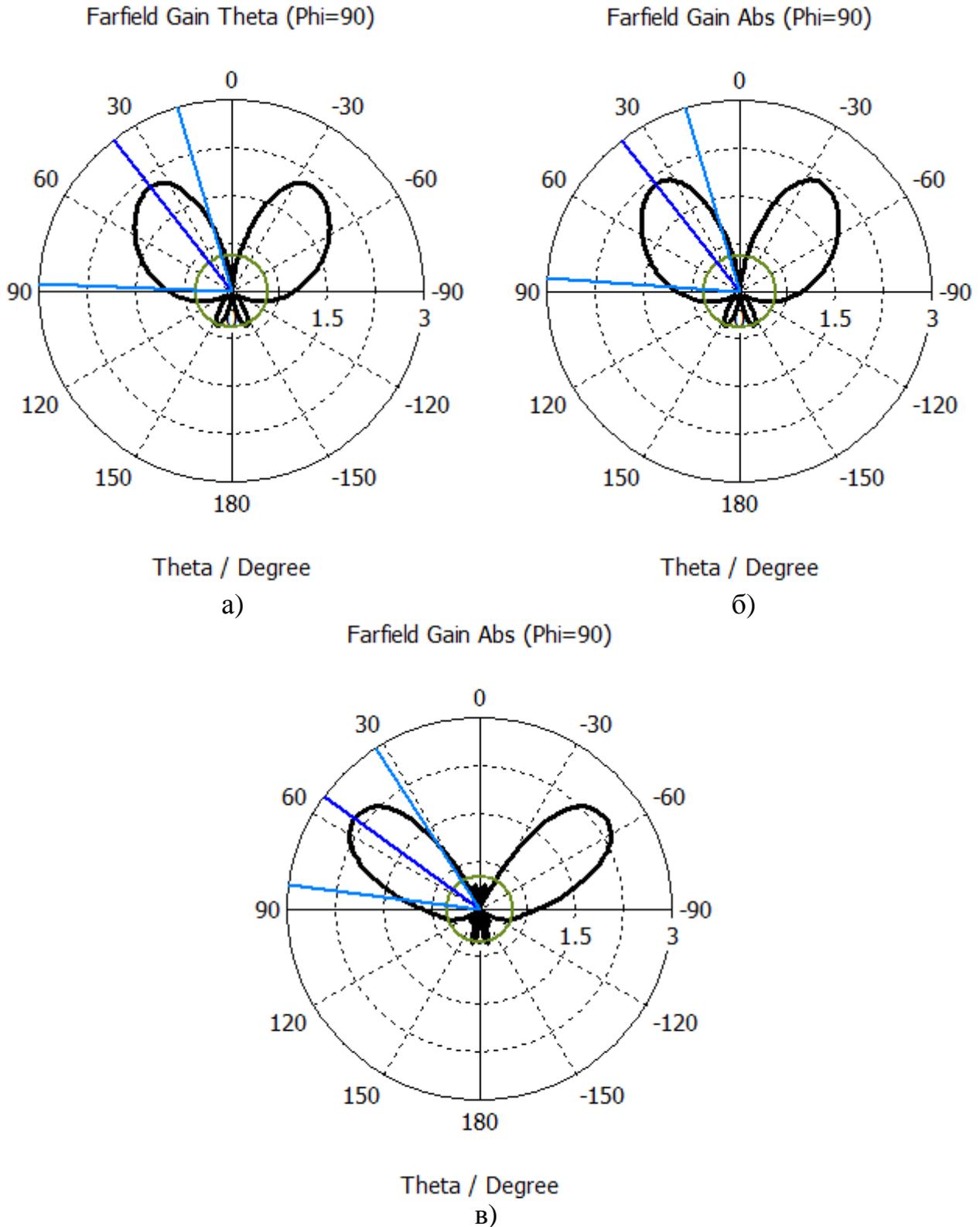


Рис. 13. Диаграмма направленности в плоскости θ (при $\varphi = 90^\circ$): а - штыревая антенна с загибом 180 градусов, б - с загибом 90 градусов, в - без загиба

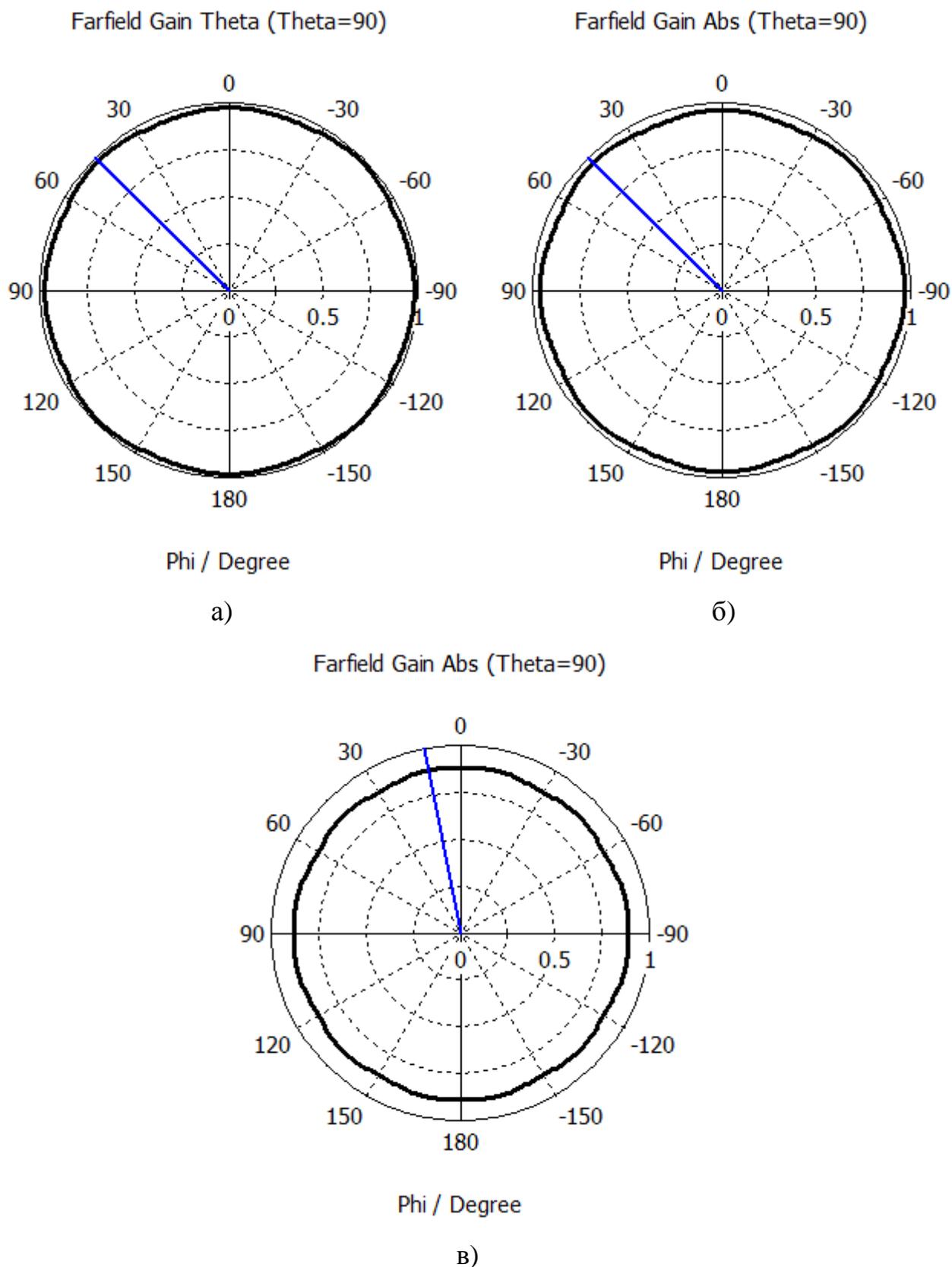


Рис. 14. Диаграмма направленности в плоскости φ (при $\theta = 90^\circ$): а - штыревая антенна с загибом 180 градусов, б - с загибом 90 градусов, в - без загиба

На рисунках 13 и 14 показаны диаграммы направленности исследуемых антенн в двух плоскостях: на рис. 13 – в плоскости θ (для вертикально размещённой на подложке антенны – в вертикальной плоскости), на рис. 14 – в плоскости φ (т.е. в горизонтальной плоскости).

В таблице 2 представлены параметры диаграмм направленности антенн.

Таблица 2. Характеристики антенн

	Диаграмма направленности в плоскости θ			Диаграмма направленности в плоскости φ		
	0°	90°	180°	0°	90°	180°
Угол загиба конца штыря	0°	90°	180°	0°	90°	180°
Максимальный коэффициент усиления, разы	2.41	2.22	2.3	0.544	0.92	0.881
Направление главного лепестка, градус	54.0	37.0	37.0	11.0	45.0	45.0
Ширина главного лепестка (ЗдБ), градус	49.9	66.0	63.3			
Уровень боковых лепестков, дБ	-6.5	-6.1	-6.5			

В случае с изменяемой линейной частью монополя с загибом коэффициент усиления уступает незначительно (на 0.2-0.1) монополю без загиба как видно из таблицы 2. В этом случае мы получаем преимущество за счет уменьшения габаритных параметров антенны. Это связано с тем, что при изменении физической длины монополя мы сохраняем электрическую.

На рис. 14 приведена частотная зависимость коэффициента отражения (параметра S_{11}) для трёх антенн: штрихпунктирной линией – для обычного штыря, точечной линией – для штыря с концевым загибом 90 градусов, пунктирной линией – для штыря с загибом 180 градусов. Видно, что рабочая частота антенны меняется незначительно. Это происходит из-за сохранения

электрической длины антенны. Загиб играет роль индуктивности, что наблюдается на рисунке 14. Для обеспечения работы антенн на частоте 2.1 ГГц, мы меняли фактическую длину при сохранении электрической. Это значит, что длина загиба компенсировала уменьшение линейной части. В свою очередь электрическая длина оставалась равной 33,2 мм, в то время как физическая длина монополя уменьшалась. Поэтому антенна остаётся согласованной во всех трёх случаях. Наглядные графики коэффициента отражения представлены на рисунке 14.

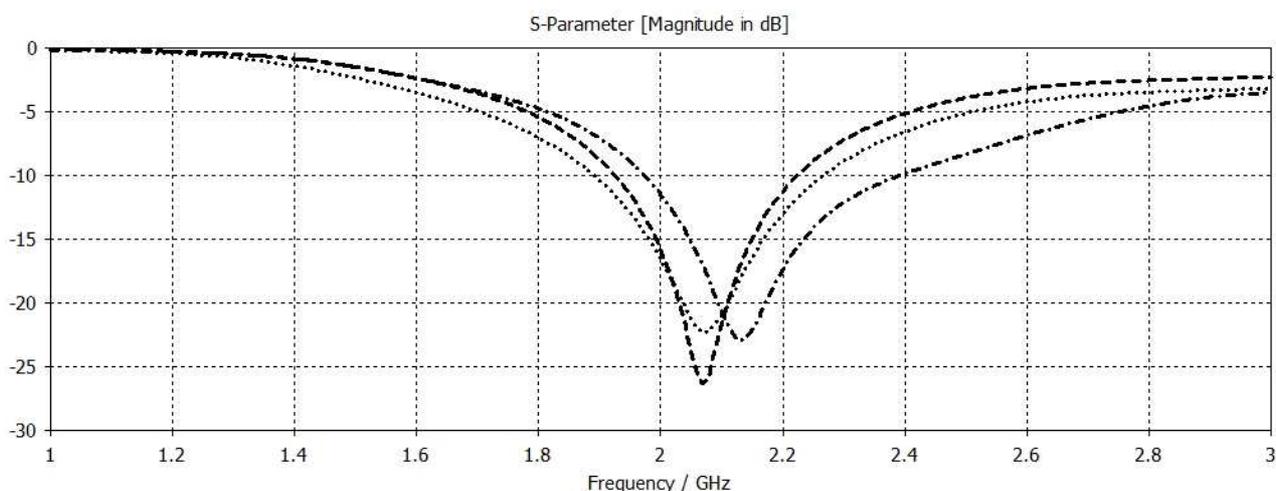


Рис. 14. Модуль коэффициента отражения трёх антенн

Ниже на рисунках 15 и 16 представлены частотные зависимости вещественной и мнимой частей входного сопротивления (в Омах) исследуемых антенн соответственно: штрихпунктирной линией – для обычного штыря, точечной линией – для штыря с концевым загибом 90 градусов, пунктирной линией – для штыря с загибом 180 градусов. Анализируя эти графики, можно заметить, что с увеличением угла загиба действительная часть входного сопротивления увеличивается.

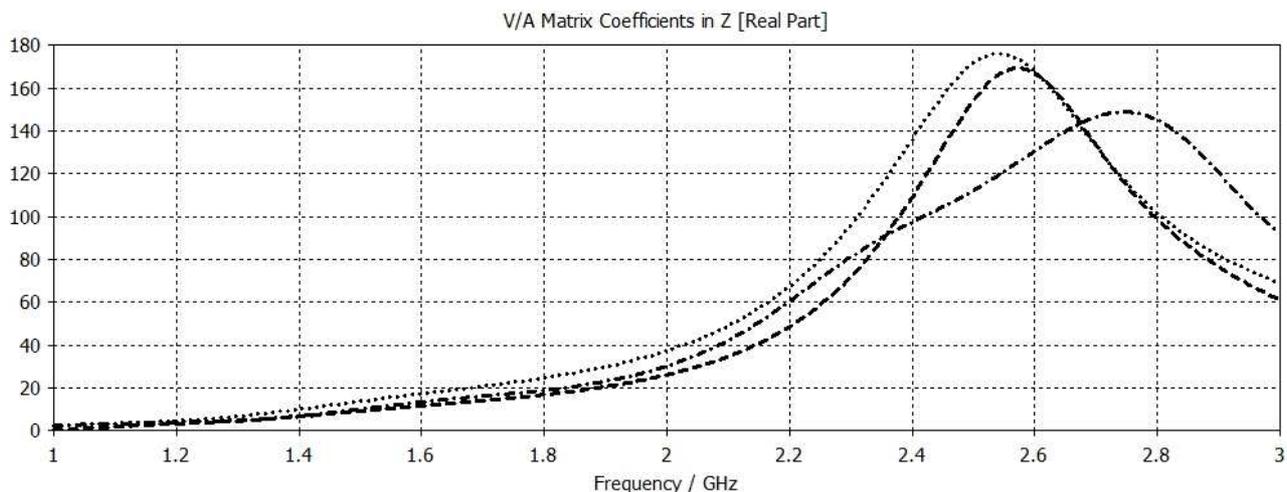


Рис. 15. Действительная часть входного сопротивления

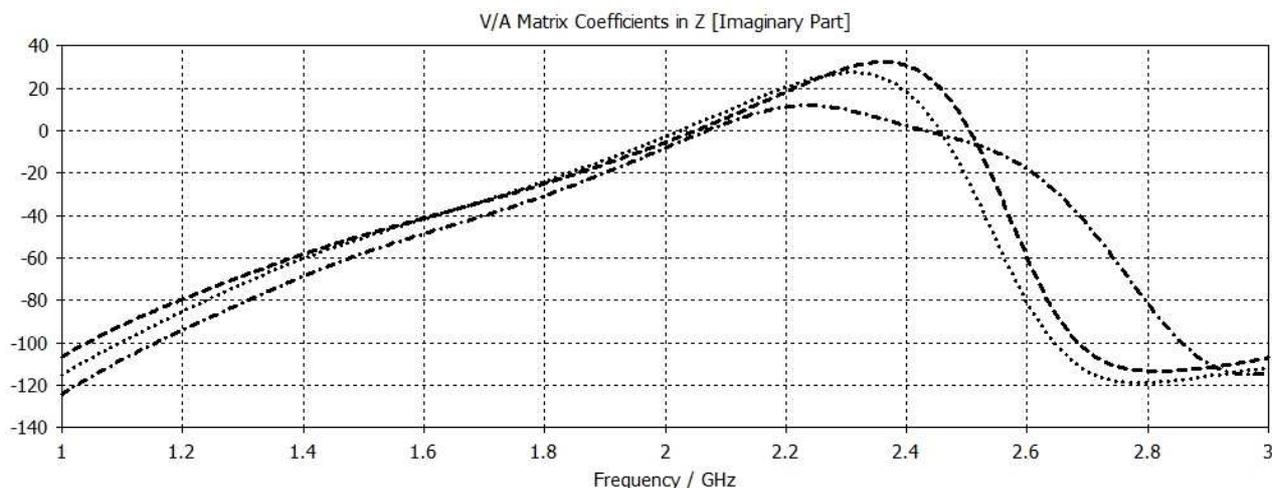


Рис. 16. Мнимая часть входного сопротивления

Делая вывод по результатам анализа и проектирования, можно сказать, что изменение линейной части монополя ведет к улучшению характеристик антенны в сравнении с результатами анализа без изменения линейной части. Исходя из этого, мы получаем значительное превосходство над габаритами исходной антенны с незначительным ухудшением некоторых параметров.

Литература

1. Бузов А.Л., Казанский Л.С. Антенно-фидерные устройства систем сухопутной подвижной радиосвязи. – М.: Радио и связь, 1997. - 150 с.

2. Григоров И.Н. Практические конструкции антенн. – М.: ДМК, 2010. – 352 с.
3. John L. Volakis, Richard C. Johnson, Henry Jasik, *Antenna engineering handbook*. - McGraw-Hill Education, 2007. – 1872 с.
4. CST STUDIO SUITE: [Электронный ресурс] // *Computer Simulation Technology*. URL: <https://www.cst.com/Products/CSTS2> (дата обращения 10.10.2014).
5. Драбкин А., Зузенко В., Кислов А. Антенно-фидерные устройства. – М.: Сов. Радио. - 1974.