

Измерение характеристик ферритовых антенн КВ/УКВ диапазона в ТЕМ-камере

В.А. Сучков¹, Ю.Г. Антонов¹, С.В. Балландович¹, Л.М. Любина¹, Г.А.Костиков¹, М.И.Сугак¹

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: в данной работе исследовались характеристики стержневых ферритовых антенн (ФА) КВ и УКВ диапазонов: частотная зависимость коэффициента усиления (КУ) и уровень согласования. Измерения КУ проводились в ТЕМ камере на основе эталонного поля, а также методом замещения. В этом случае в качестве измерительной (эталонной) антенны использовался тонкий несогласованный штырь с известной частотной зависимостью КУ. Представлены результаты измерений характеристик различных вариантов исполнения ФА в КВ и УКВ диапазонах.

Ключевые слова: ферритовые антенны, коэффициент усиления, метод замещения, ТЕМ-камера.

1. Введение

В системах связи, навигации, радиомониторинга широко применяются электрически малые антенны (ЭМА), т.е. антенны с электрическими размерами, существенно меньшими длины волны. Среди них прочное место занимают ЭМА, выполненные на стержневых ферритовых сердечниках (ФА), причем в большинстве случаев ФА применяются в качестве приемных антенн СВ или ДВ диапазонов. В более высокочастотных диапазонах ФА применяются гораздо реже и информация о характеристиках, в частности, о поведении их КУ в литературе представлена гораздо хуже [1–3]. Данное исследование направлено на экспериментальное выявление закономерностей поведения КУ ФА в диапазоне до 100 МГц.

2. Оценка КУ ФА методом “калиброванного” поля ТЕМ камеры

Метод экспериментального определения КУ ФА, основанный на известной частотной зависимости напряжённости электрического поля в камере, опирается на хорошо известное соотношение между КУ и эффективной площадью приёма (ЭПП) антенны:

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot S_{eff} . \quad (1)$$

Через определение ЭПП перейдем к соотношению:

$$G = 8\pi \frac{W}{\lambda^2} K_p \gamma, \quad \gamma = \frac{P_{in}}{|E|^2}, \quad (2)$$

где $W=150$ Ом – волновое сопротивление линии (камеры), K_p - коэффициент передачи по мощности от входа камеры до выхода исследуемой антенны, γ -

параметр качества камеры, учитывающий частотные свойства согласующе-симметрирующего узла.

3. Метод замещения с рассогласованным монополем в качестве измерительной антенны

В УКВ диапазоне измерения проводились методом замещения [2]. В качестве измерительной антенны применялся короткий несогласованный монополюль, установленный в центре нижней пластины камеры. Для него КУ обусловлен низким значением фидерного КПД, который может быть записан в следующем виде:

$$G = 3\eta = 3 \cdot (1 - |S_{11}|^2) \quad (3)$$

$$S_{11} = \frac{Z_a - W_{port}}{Z_a + W_{port}} \quad (4)$$

В формулах 3,4 S_{11} - коэффициент отражения в фидерном тракте, η – КПД фидерного тракта, Z_a – входное сопротивление антенны (монополя), W_{port} – волновое сопротивление порта. С учётом малости электрических размеров монополя, его входное сопротивление в одномодовом приближении записывается в следующем виде:

$$Z_a = 10(kl)^2 - i60 \left(\ln \left(\frac{l}{a} \right) - 1 \right) ctg(kl) \quad (5)$$

В результате из формул (1),(2) следует приближенное выражение для КУ штыревой антенны над бесконечной землей [5]:

$$G = \frac{W_{port}}{30 \cdot \left[\ln \left(\frac{l}{a} \right) - 1 \right]^2} \cdot (kl)^4 \quad (6)$$

Частотные зависимости КУ эталонной антенны из расчета по формуле (3) и эксперимента приведены на рис. 1. Как видно на графике, расчетные данные находятся в хорошем согласии с экспериментом.

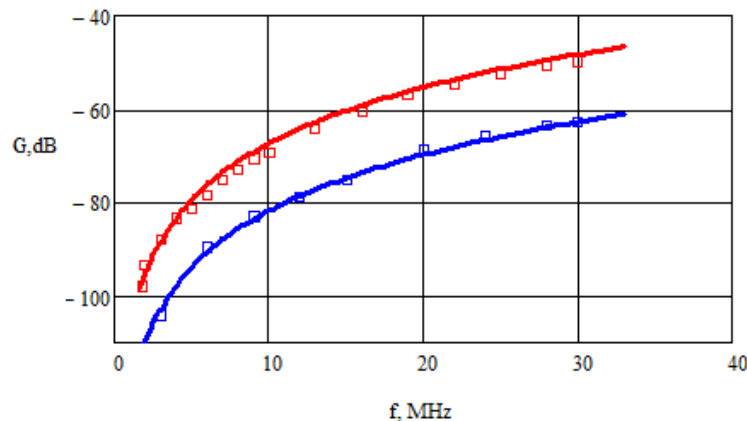


Рисунок 1. Расчётная (сплошной линией) и экспериментальная (маркерами) зависимости КУ ФА от частоты для рассогласованного электрически малого монополя.

Таким образом, тонкий короткий монополярный, установленный непосредственно в ТЕМ камере, может выступать в качестве измерительной антенны для оценки КУ в широкой полосе частот.

4. Оценка КУ ФА методом “калиброванного” поля ТЕМ камеры

В работе применены ФА типовой конструкции – две медные обмотки, на ферритовом стержне марки М400НН длиной 200 мм для ФА КВ диапазона и 60 мм для ФА УКВ диапазона, диаметр стержней – 10 мм. Одна из обмоток образует колебательный контур с параллельно соединённым конденсатором, вторая – подключается к векторному анализатору цепей. Частотные зависимости коэффициента отражения и КУ исследуемых образцов ФА КВ диапазона представлены на рис.2 а,б. На рис. 2 (а) виден хороший уровень согласования исследуемых антенн, достигаемый во всем КВ диапазоне с помощью варьирования параметров элемента связи.

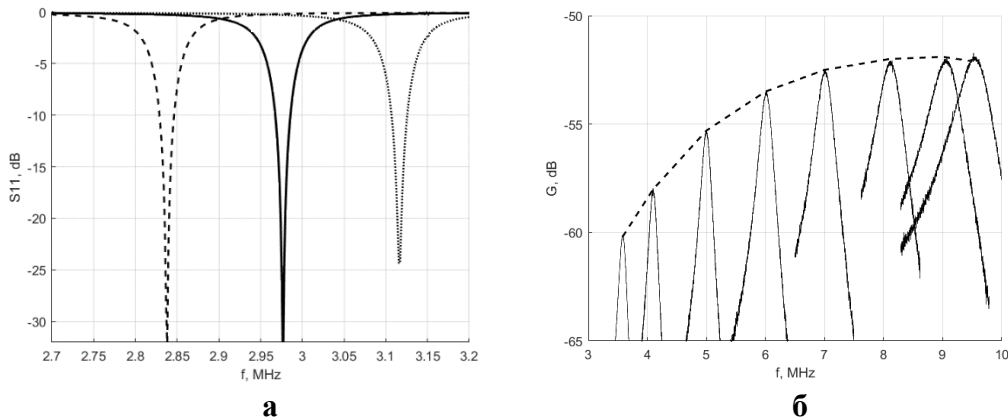


Рисунок 2 а,б. Частотные зависимости коэффициентов отражения исследуемых антенн (а), семейство частотных зависимостей КУ ФА при перестройке в полосе 3-10 МГц (б).

В низкочастотной части семейства, представленного на рис. 2б, наблюдается рост пиковых значений КУ, обусловленный «естественными» причинами, т.е. увеличением частоты при фиксированной геометрии антенны. На частотах выше 7 МГц наблюдается постоянство уровня пиковых значений КУ, обусловленное повышением тепловых потерь в материале ФА, дальнейшее увеличение частоты приводит к падению КУ. Здесь целесообразно переходить на другие, более качественные материалы для ФА.

Наибольший интерес представляет вопрос частотной зависимости КУ в УКВ диапазоне. На рис. 3 а,б представлены частотные зависимости для коэффициентов отражения и КУ ферритовых УКВ антенн. Низкое пиковое значение КУ в этом диапазоне, несмотря на значительный рост частоты, объясняется весьма малыми продольными размерами антенн (60 мм). Выбросы на графиках частотных зависимостей S11 и G представляют собой помехи от станции УКВ телерадиовещания, расположенной в непосредственной близости от места проведения эксперимента.

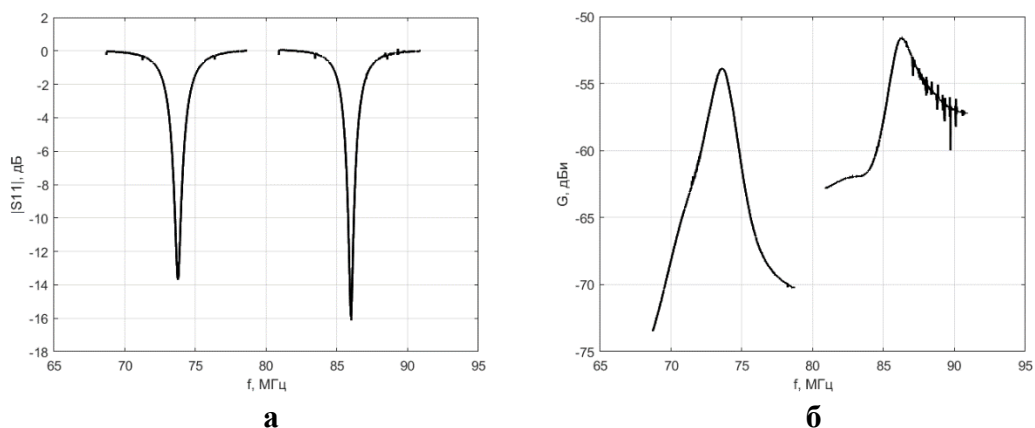


Рисунок 3 а,б. Частотные зависимости коэффициентов отражения ФА УКВ диапазона (а), семейство частотных зависимостей КУ (б).

5. Заключение

Измерение КУ ФА как методом калиброванной ТЕМ камеры, так и по методу замещения, показало свою эффективность в широком интервале частот от СВ/ДВ диапазона [6] и до частот порядка 150 МГц. Попытки измерения КУ ФА методом двух антенн, как показал опыт, привели к заметно большей погрешности, при этом не удалось в достаточной мере решить проблему помехоустойчивости [7].

Список литературы

1. Хомич В.И. “Ферритовые антенны” М., “Энергия”, 1969, 96 стр.
2. Constantine A. Balanis, “Antenna Theory: Analysis and Design, 4th Edition”, John Wiley & Sons, 2016, 1104 p
3. K. Siwiak, Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications, 2nd ed., Artech House, Norwood, MA, 1998.
4. E.Kaverine, S.Palud, F.Colombel, M.Himdi Simple Approach to Miniaturized Antenna Gain Measurement Using a Parallel Plate Cell in the HF Band. Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 46, 11–18, 2016 .
5. Антонов Ю.Г., Сугак М.И., Любина Л.М. Оценка КПД несогласованных электрически малых антенн. СПбНТОРЭС: труды ежегодной НТК. 2021. № 1 (76). С. 29-32.
6. Антонов Ю.Г., Костиков Г.А., Сугак М.И. Измерение характеристик средневолновой антенны радиопеленгатора. СПбНТОРЭС: труды ежегодной НТК. 2021. № 1 (76). С. 33-35.
7. Sugak M.I., Kostikov G.A., Ballandovich S.V., Liubina L.M., Antonov Y.G. Gain Estimation for Electrically Small Antennas with the Use of the Near-Field Zone Measurements.