

**ШИРОКОПОЛОСНАЯ АНТЕННА КОРОТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА,
СОСТОЯЩАЯ ИЗ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ВИБРАТОРОВ****А.Н. Сысоев¹, Д.Ю. Муромцев², О.А. Белоусов², А.А. Тришаков²****¹АО «Тамбовский завод «Октябрь», г. Тамбов, Россия****²Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия**

Аннотация: разработка широкополосной антенны для КВ-диапазона, состоящей из несимметричных вибраторов, нацелена на расширение рабочих характеристик по спектру частот по сравнению с традиционными ЛПА и сохранения высокой направленности. В основе исследования лежит сравнение логопериодической антенны (ЛПА) с вариантами широкополосной антенны, в которой полуволновые вибраторы заменены на несимметричные четвертьволновые элементы. Для достижения однонаправленного излучения рассматривается система из двух связанных вибраторов и анализируется влияние электрического расстояния между элементами и фазового сдвига токов на форму диаграммы направленности (ДН). Моделирование проводилось в MMANA на диапазонах 11–12 МГц, с расчётами по двум конфигурациям: базовой широкополосной антенны и её версии с дополнительным четвертьволновым вибратором для повышения подавления бокового излучения. Результаты показывают, что базовая широкополосная антенна по сравнению с ЛПА имеет на частоте 11 МГц меньший коэффициент усиления на 0.5 дБ и более слабое подавление бокового лепестка до 3.5 дБ, тогда как на 12 МГц коэффициенты схожи, но подавление бокового излучения сохраняется ниже значений ЛПА. Увеличение электрического расстояния между вибраторами ведёт к достижению кардиоидной ДН и заметному росту коэффициента усиления: на 11 МГц антенна с двумя элементами демонстрирует прирост до 1.6 дБ, а на 12 МГц — до 2.4 дБ по сравнению с ЛПА. Введение дополнительного четвертьволнового вибратора существенно улучшает параметры: на 11 МГц увеличение КУ достигает 2 дБ, а подавление бокового излучения — 5.1 дБ; на 12 МГц соответствующие значения составляют 2.7 дБ и более 9.9 дБ соответственно. Указывается, что слабое подавление бокового излучения в нижнем диапазоне связано с отсутствием активного рефлектора, однако добавление дополнительного элемента позволяет существенно повысить направленность и подавление боковых лепестков. В результате предложенная конфигурация шире диапазона эксплуатации по сравнению с ЛПА и обеспечивает конкурентные или превосходящие характеристики по коэффициенту усиления и боковому подавлению при сохранении компактности и адаптивности конструкции.

Ключевые слова: широкополосная антенна, коротковолновый диапазон, несимметричные вибраторы, диаграмма направленности, моделирование, коэффициент усиления, подавление бокового излучения

Введение

Существующие системы мобильной радиосвязи КВ-диапазона используют набор передающих слабонаправленных антенн [1]. К таким антеннам относят V-образные антенны, вибраторы наклонные, Т-образные антенны и др. Необходимость применения целого ряда антенн обусловлена тем, что антенны КВ-диапазона обладают небольшим коэффициентом перекрытия диапазона, низким коэффициентом усиления и низким подавлением бокового излучения. Самым существенным недостатком этих антенн является то, что коэффициент усиления сильно меняется от частоты. Поэтому для обеспечения современных требований по широкополосности, коэффициенту усиления и подавлению заднего лепестка используют логопериодическую антенну (ЛПА) [2]. Она обладает постоянной диаграммой направленности на разных частотах, а отношение максимальной длины волны к минимальной

превышает величину равную десяти. В режиме передачи в ЛПА активными являются те вибраторы, которые находятся в активной области антенны. В качестве излучающих элементов в ЛПА используются полуволновые вибраторы, что накладывает конструктивные ограничения на использование данной антенны в нижней части КВ-диапазона из-за их размеров.

Цель работы — разработка антенны КВ-диапазона, состоящей из несимметричных вибраторов и имеющей более широкий диапазон работы, чем логопериодическая антенна.

**Расчет антенны КВ диапазона, состоящей
из несимметричных вибраторов**

Для решения поставленной задачи представим полуволновые вибраторы ЛПА в виде несимметричных четвертьволновых вибраторов.

Из множества элементов (n) ЛПА рассмотрим систему из двух связанных вибраторов для получения однонаправленного излучения [3]. Для получения диаграммы направленности (ДН) в виде кардиоиды на фиксирован-

ной частоте требуется электрическое расстояние между вибраторами $a = 0.25$, что соответствует $\frac{\lambda}{4}$ и фазовый сдвиг тока $\frac{\pi}{2}$. При изменении электрического расстояния между связанными вибраторами на величину

$$a = \frac{d}{\lambda},$$

где d – расстояние между вибраторами; λ – длина волны, требуется изменение фазового сдвига тока возбуждения активного рефлектора по отношению к току излучателя. Фазовый сдвиг определяется в соответствии с выражением

$$\phi = \pi - \beta \cdot d,$$

где ϕ – требуемый фазовый сдвиг; β – коэффициент фазы [4].

Вычислим длину волны λ при известных длинах четвертьволновых вибраторов l в соответствии с выражением

$$\lambda = 4 \cdot l. \quad (1)$$

Задавая электрическое расстояние a между вибраторами, определим расстояние между четвертьволновыми несимметричными вибраторами:

$$d = a \cdot \lambda. \quad (2)$$

Рассчитаем фазы токов четвертьволновых вибраторов относительно первого вибратора с фазой тока $\varphi=0^\circ$, используя выражение

$$\phi(n) = \phi(n-1) \cdot (\pi - \beta \cdot d(n)), \quad (3)$$

где n – порядковый номер вибратора.

Моделирование антенны КВ-диапазона, состоящей из несимметричных вибраторов

Проведем сравнительный анализ результатов моделирования ЛПА и широкополосной антенны (рис. 1) с использованием программного продукта MMANA [5]. Данная программа позволяет производить исследования антенн с оценкой всех ее основных параметров.

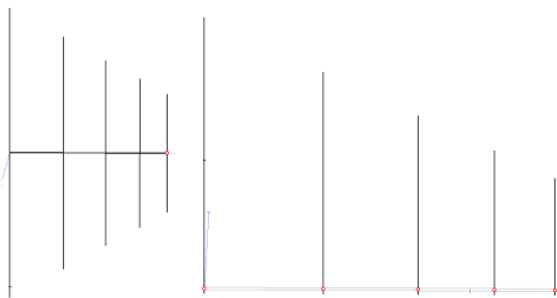


Рис. 1. Модели ЛПА и широкополосной антенны, состоящей из несимметричных вибраторов

ЛПА, рассчитанная на диапазон 11-12 МГц, имеет длину 7.25 м и высоту 13.64 м.

Широкополосная антенна, состоящая из несимметричных вибраторов, рассчитанная на диапазон 11-12 МГц по приведенной методике с электрическим расстоянием между вибраторами $a = 0.13$, имеет длину 8.4 м и высоту 6.9 м.

Проведено моделирование ЛПА и широкополосной антенны с рассчитанными фазами токов на частотах 11 и 12 МГц. Сравнительный вид ДН представлен на рис. 2.

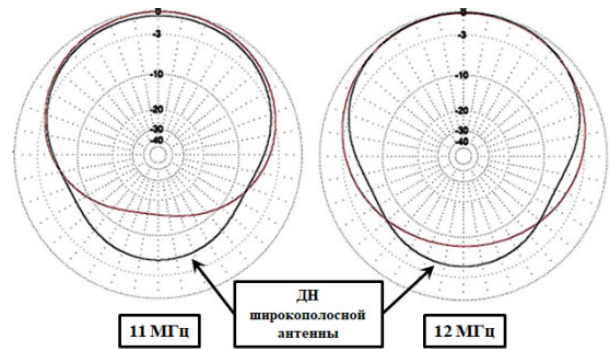


Рис. 2. ДН ЛПА и широкополосной антенны с электрическим расстоянием между вибраторами $a = 0.13$

Анализ результатов моделирования показал, что коэффициент усиления (КУ) широкополосной антенны, состоящей из несимметричных вибраторов на частоте 11 МГц меньше на 0.5 дБ чем у ЛПА, а подавление бокового излучения меньше 3.5 дБ. На частоте 12 МГц у антенн КУ одинаковый, а подавление бокового излучения у широкополосной антенны, состоящей из несимметричных вибраторов, меньше на 0.8 дБ.

Увеличим электрическое расстояние между вибраторами в широкополосной антенне до $a = 0.25$. Данное расстояние соответствует условию получения ДН в виде кардиоиды. При увеличении электрического расстояния между вибраторами длина антенны увеличилась до 16.1 м. Проведено моделирование данной антенны при фазовом распределении по вибраторам $\varphi=90^\circ$. Сравнительный вид ДН ЛПА и широкополосной антенны представлен на рис. 3.

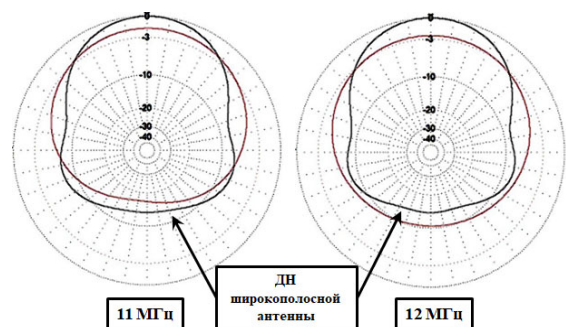


Рис. 3. ДН ЛПА и широкополосной антенны с электрическим расстоянием между вибраторами $a = 0.25$

Результаты моделирования показали, что КУ широкополосной антенны, состоящей из несимметричных вибраторов на частоте 11 МГц больше на 1.6 дБ чем у ЛПА, а подавление бокового излучения меньше на 0.1 дБ. На частоте 12 МГц КУ широкополосной антенны, состоящей из несимметричных вибраторов, больше на 2.4 дБ чем у ЛПА, а подавление бокового излучения больше 3.8 дБ.

Меньшее подавление бокового излучения широкополосной антенны на нижних частотах по отношению к ЛПА связано с отсутствием активного рефлектора, т.к. последний вибратор является активным.

Для увеличения подавления бокового излучения в нижней части диапазона дополнили данную антенну несимметричным вибратором, который равен по длине последнему вибратору (рис. 4).

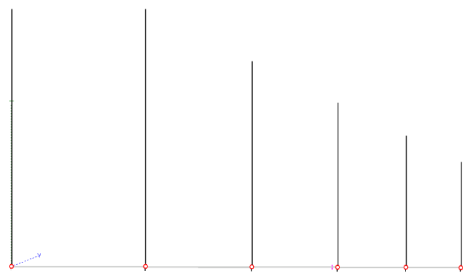


Рис. 4. Модель широкополосной антенны с дополнительным четвертьволновым вибратором

Широкополосная антенна с дополнительным четвертьволновым вибратором и электрическим расстоянием между вибраторами $a = 0.13$ имеет длину 11.9 м и высоту 6.9 м.

Проведено моделирование ЛПА и широкополосной антенны с дополнительным четвертьволновым вибратором на частотах 11 и 12 МГц. Сравнительный вид ДН представлен на рис. 5.

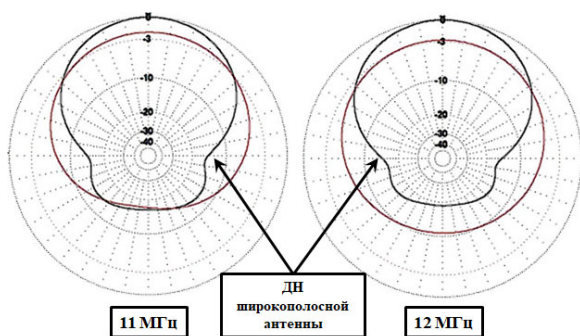


Рис. 5. ДН ЛПА и широкополосной антенны с дополнительным четвертьволновым вибратором и электрическим расстоянием между вибраторами $a = 0.13$

Проведенное моделирование показало, что КУ широкополосной антенны с дополнительным четвертьволновым вибратором на частоте 11 МГц больше на 2 дБ чем у ЛПА, а подавление бокового излучения больше на 5.1 дБ. На частоте 12 МГц КУ широкополосной антенны с дополнительным четвертьволновым вибратором больше на 2.7 дБ чем у ЛПА, а подавление бокового излучения больше 9.9 дБ.

Вывод

1. Разработана широкополосная антенна, состоящая из несимметричных вибраторов.
2. Рассчитано фазовое распределение токов по излучателям в широкополосной антенне.
3. При использовании несимметричных четвертьволновых вибраторов стало возможным применение данной антенны в более широком диапазоне частот КВ диапазона по отношению к ЛПА при одинаковой высоте их развертывания.
4. При добавлении к широкополосной антенне дополнительного вибратора происходит увеличение коэффициента усиления и увеличение подавления заднего излучения при малом электрическом расстоянии между вибраторами.

Литература

1. Игнатов В.В., Бабков В.Ю. Обоснование основных технических параметров техники радиосвязи. Л.: ВАС, 1990. 112с.
2. Ротхаммель К., Кришке А. Антенны. М.: ЛАЙТ ЛТД, 2000. Т. 1. 416 с.
3. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства: учебник для вузов. 3-е изд., доп. и перераб. М.: Радио и связь, 1981. 280 с.
4. Беседин А.Б., Жуков В.М., Харин А.Ф. Принципы построения фазированных антенных решеток корпоративных сетей подвижной коротковолновой радиосвязи // Радиотехника. М. 2006. № 5. С. 102-105.
5. Гончаренко И.В. Антенны КВ и УКВ. Компьютерное моделирование. MMANA. М.: ИП РадиоСофт. 2004. 128 с.

Сысоев Александр Николаевич – главный конструктор, АО «Тамбовский завод «Октябрь» (392029, Россия, г. Тамбов, ул. Бастионная, 1), e-mail: trishakov2016@yandex.ru

Муромцев Дмитрий Юрьевич – д-р техн. наук, проректор по научной работе, Тамбовский государственный технический университет (392000, Россия, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, пом. 2), e-mail: mdjur@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2033-6591

Белоусов Олег Андреевич – канд. техн. наук, директор института энергетики, приборостроения и радиоэлектроники, Тамбовский государственный технический университет (392000, Россия, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, пом. 2), e-mail: jjour314@yandex.ru

Тришakov Алексей Александрович – аспирант, Тамбовский государственный технический университет (392000, Россия, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, пом. 2), e-mail: trishakov2016@yandex.ru

BROADBAND HF BAND ANTENNA CONSISTING OF ASYMMETRIC VIBRATORS

A.N. Sysoev¹, D.Yu. Muromtsev², O.A. Belousov², A.A. Trishakov²

¹AO Tambov Plant «Oktyabr'», Tambov, Russia

²Tambov State Technical University, Tambov, Russia

Abstract: the development of a broadband antenna for the HF band, consisting of asymmetric vibrators, is aimed at expanding the operating characteristics of the frequency spectrum compared to traditional antennas and maintaining high directivity. The study is based on a comparison of a logoperiodic antenna (LPA) with broadband antenna variants in which half-wave vibrators are replaced with asymmetric quarter-wave elements. To achieve unidirectional radiation, we considered a system of two coupled vibrators and the effect of the electrical distance between the elements and analyzed the phase shift of currents on the shape of the radiation pattern. We carried out the simulation in MMANA in the 11-12 MHz bands, with calculations for two configurations: a basic broadband antenna and its version with an additional quarter-wave vibrator to increase the suppression of side radiation. The results show that the basic broadband antenna has a 0.5 dB lower gain at a frequency of 11 MHz and a weaker side lobe suppression of up to 3.5 dB, whereas at 12 MHz the coefficients are similar, but the side radiation suppression remains below the LPA values. An increase in the electrical distance between the vibrators leads to a cardioid bottom and a noticeable increase in gain: at 11 MHz, the antenna with two elements shows an increase of up to 1.6 dB, and at 12 MHz — up to 2.4 dB compared to the LP. The introduction of an additional quarter-wave vibrator significantly improves the parameters: at 11 MHz, the CU increase reaches 2 dB, and the suppression of side radiation is 5.1 dB; at 12 MHz, the corresponding values are 2.7 dB and more than 9.9 dB, respectively. We indicate that the weak suppression of side radiation in the lower range is due to the absence of an active reflector, however, the addition of an additional element can significantly increase the directivity and suppression of the side lobes. As a result, the proposed configuration extends the range of operation compared to LPAs and provides competitive or superior performance in terms of gain and lateral suppression while maintaining compactness and adaptability of the design

Key words: broadband antenna, shortwave band, asymmetric vibrators, radiation pattern, modeling, gain, side radiation suppression

References

1. Ignatov V.V., Babkov V.Yu. "Substantiation of the main technical parameters of radio communication technology" ("Obosnovanie osnovnykh tekhnicheskikh parametrov tekhniki radiosvyazi"), Leningrad: VAS, 1990, 112 p.
2. Rothammel K., Kriske A. "Antennas. Vol. 1", Moscow: LIGHT LTD, 2000, 416 p.
3. Kocherzhevskiy G.N. "Antenna-feeder devices" ("Antenno-fidernye ustroystva"), Moscow: Radio i svyaz', 1981, 280 p.
4. Besedin A.B., Zhukov V.M., Kharin A.F. "Principles of construction of phased antenna arrays of corporate shortwave mobile radio communication networks", *Radio Engineering (Radiotekhnika)*, 2006, no. 5, pp. 102-105.
5. Goncharenko I.V. "HF and VHF antennas. Computer simulation. MMANA", Moscow: IP RadioSoft, 2004, 128 p.

Submitted 24.10.2025; revised 19.11.2025

Information about the authors

Aleksandr N. Sysoev, Chief Designer, JSC TK «Oktyabr'» (1 Bastionnaya str., Tambov 392029, Russia), e-mail: trishakov2016@yandex.ru

Dmitriy Yu. Muromtsev, Dr. Sc. (Technical), Vice-Rector for Scientific and Innovative Activities, Tambov State Technical University (106 Sovetskaya str., Tambov 392000, Russia), e-mail: mdjur@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2033-6591

Oleg A. Belousov, Cand. Sc. (Technical), Director of the Institute of Power Engineering, Instrument Engineering and Radio Electronics, Tambov State Technical University (106 Sovetskaya str., Tambov 392000, Russia), e-mail: jjour314@yandex.ru

Aleksey A. Trishakov, graduate student, Tambov State Technical University (106 Sovetskaya str., Tambov 392000, Russia), e-mail: trishakov2016@yandex.ru