

Плазменная несимметричная вибраторная антенна: измерение характеристик сигналов

Н. Богачев^{1, 2, 4, *}, С. Андреев^{1, 2}, В. Дёмин¹,
Н. Гусейн-заде, д. ф.-м. н.^{1, 2, 4}, А. Кириллов¹,
О. Калинин³, А. Филиппов³

УДК 533.9; 537.86; 621.396.673; 621.376.3

ВАК 05.11.00; 05.12.00

Плазменные антенны – класс устройств, в которых в качестве волноведущих, излучающих и управляющих элементов используется плазма [1–9]. Исследования плазменных антенн направлены на решение таких задач современной радиотехники, как создание интеллектуальных антенн с безынерционным управлением характеристиками; снижение радиолокационной заметности антенных устройств военной техники; повышение защищенности радиотехнических систем от воздействий средств радиоэлектронной борьбы и поражения атмосферными электрическими разрядами. В развитии плазменных технологий в антенной технике можно выделить несколько направлений. Самое обширное и перспективное – плазменные антенны из газоразрядных трубок – предусматривает разработку антенн различных типов. В статье рассматривается плазменная несимметричная вибраторная антенна (ПНВА).

ПНВА (рис. 1) представляет собой аналог металлической несимметричной вибраторной антенны (МНВА), состоит из газоразрядной трубки с плазмой, соединенной с центральным проводником коаксиального кабеля, и проводящего диска, соединенного с внешним проводником коаксиального кабеля (в МНВА вместо газоразрядной трубки используется металлический штырь). Оптимальной длиной трубки (или штыря) считается $l_a = \lambda / 4$, где λ – длина волны, излучаемой антенной.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Несмотря на то, что ПНВА исследуются с 1999 года [1–6], еще остается

ряд актуальных вопросов: определение оптимального режима работы, изучение шумов и нелинейных искажений излучаемого ПНВА сигнала. Под оптимальным режимом работы понимается режим, в котором электрические характеристики плазменной антенны

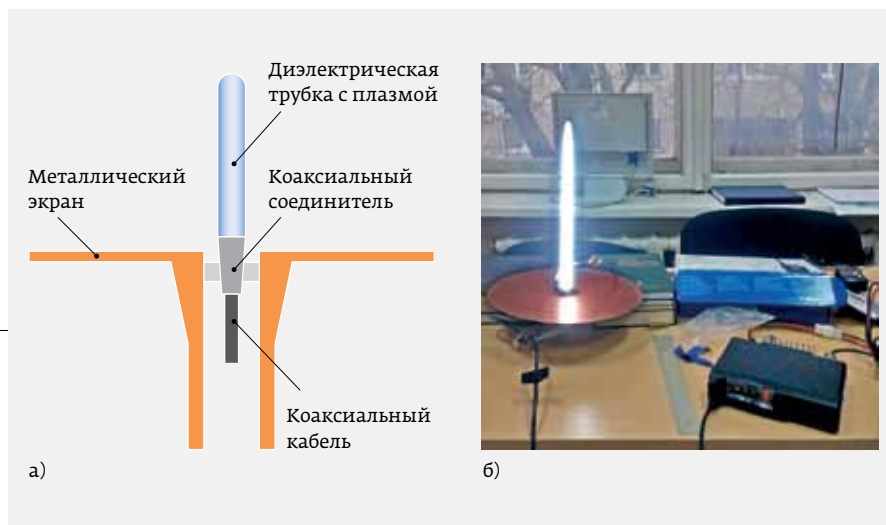


Рис. 1. Плазменная несимметричная вибраторная антенна (ПНВА): а – схема ПНВА, б – фотография ПНВА с ВЧ-передатчиком

¹ Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН.

² Московский технологический университет.

³ ООО «Кейсайт Текнолоджиз».

⁴ Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова.

* bgniknik@yandex.ru.

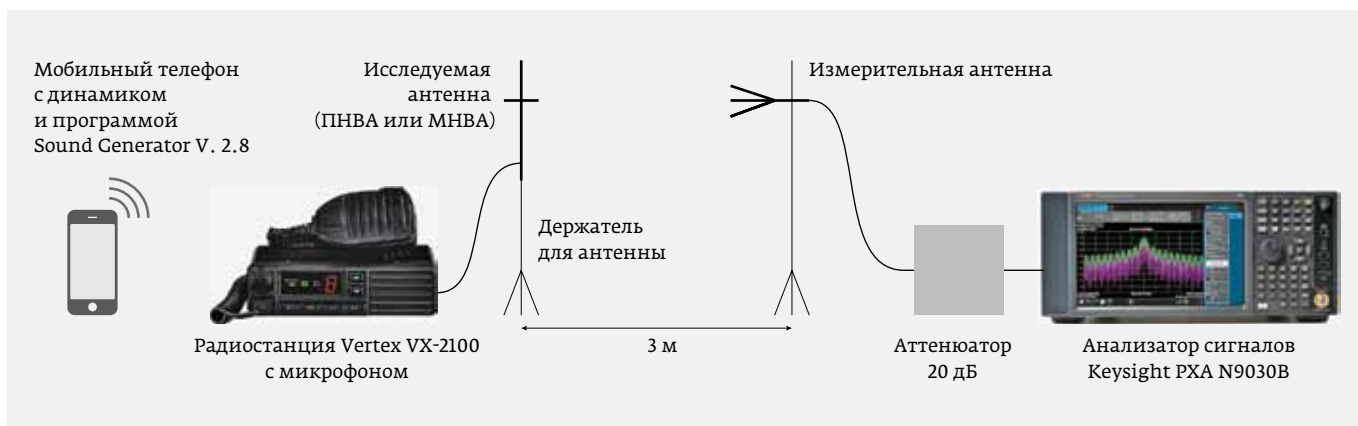


Рис. 2. Схема измерительного стенда для исследования сигнала, излучаемого ПНВА и МНВА

и излучаемого сигнала близки к характеристикам аналогичной металлической антенны.

Ранее были исследованы спектры немодулированного сигнала, который излучался плазменной несимметричной вибраторной антенной [9, 10]. В данной работе рассматривается частотно-модулированный сигнал (ЧМ-сигнал), излучаемый плазменной несимметричной вибраторной антенной. Для сравнения были выполнены измерения для аналогичной металлической антенны. Выбор частотно-модулированного сигнала обусловлен тем, что этот тип сигнала – один из самых удобных и используемых в радиотехнических системах.

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 2 представлена схема стенда для исследования спектра ЧМ-сигнала, излучаемого антенной. В качестве источника модулирующего колебания был выбран мобильный телефон с ОС Android 5.1 и установленной программой Sound Generator V. 2.8, которая

позволяла создавать с помощью динамика мобильного телефона звуковые колебания с заданной частотой $F=5$ кГц. Колебания поступали на микрофон радиостанции Vertex VX-2100, в которой модулировалось несущее колебание на частоте $f_0=446$ МГц. От радиостанции сигнал поступал на исследуемую плазменную или металлическую несимметричную вибраторную антенну, установленную в держателе. Исследуемая антенна излучала модулированный сигнал, который принимался измерительной антенной на расстоянии 3 м. С приемной измерительной антенны сигнал через аттенуатор поступал в анализатор сигналов Keysight PXA N9030B с диапазоном измерений от 4 Гц до 26,5 ГГц. Спектры частотно-модулированного сигнала, излучаемого ПНВА и МНВА, измерялись с использованием встроенного измерительного приложения анализатора N9030B для исследования сигнала с аналоговой модуляцией, обладающего возможностью выделения модулирующего сигнала.

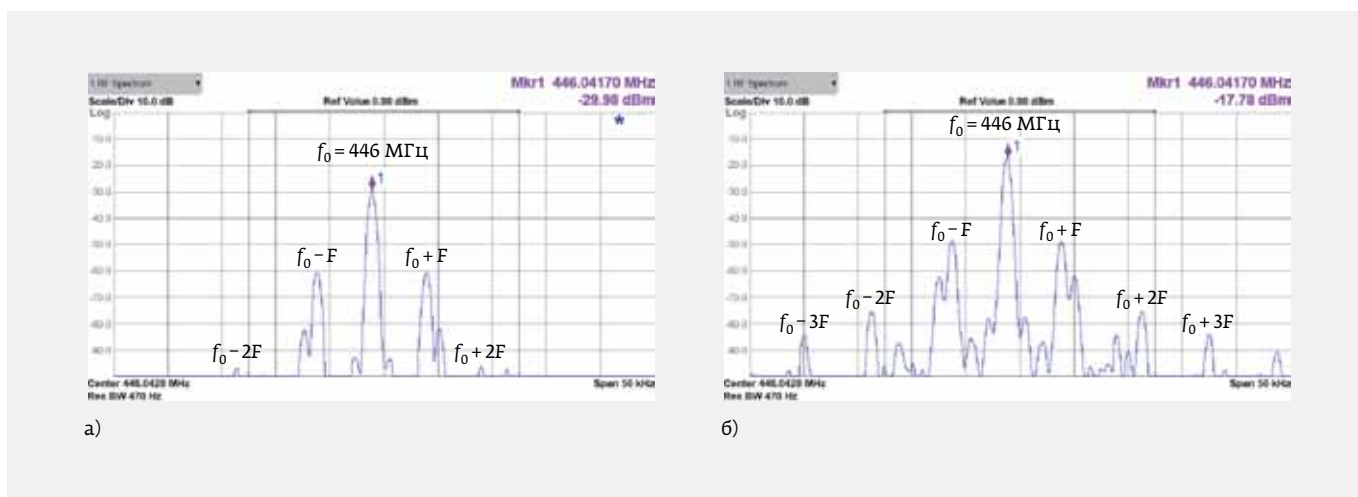


Рис. 3. Спектр мощности ЧМ-сигнала, излучаемого ПНВА (а) и МНВА (б)

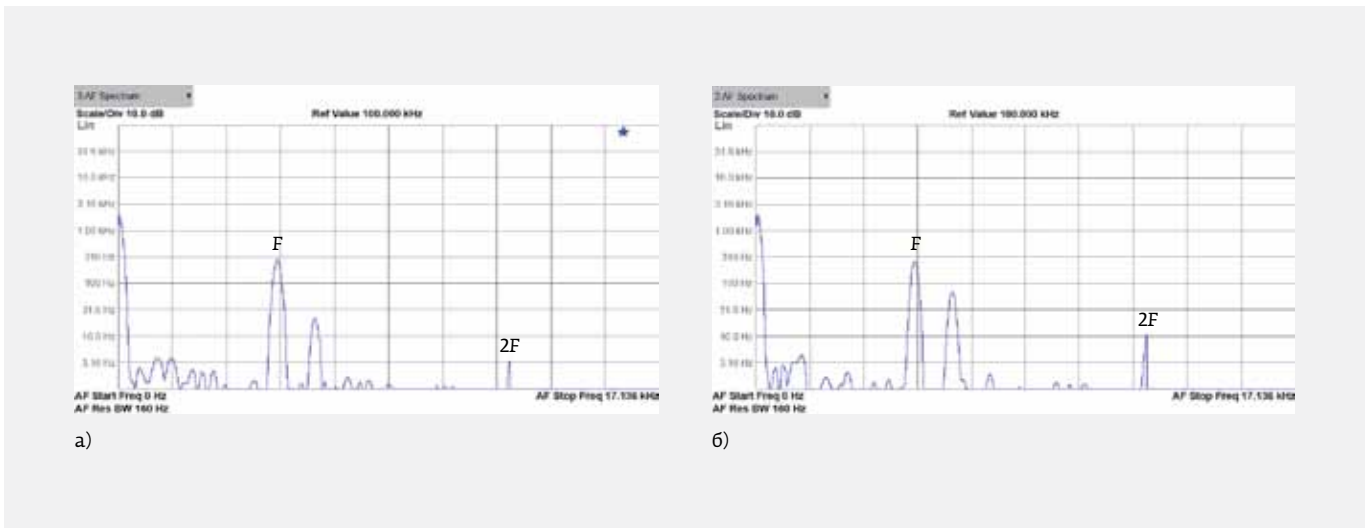


Рис. 4. Спектр мощности низкочастотного модулирующего колебания, излученного ПНВА (а) и МНВА (б)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРОВ

На рис. 3 представлены спектры мощности сигнала, излученного МНВА и ПНВА. Данные спектры измерены вблизи несущей частоты $f_0 = 446$ МГц в полосе шириной 50 кГц. В представленных на рис. 3 спектрах видны компонент на частоте несущего колебания f_0 и компоненты на частотах $f_0 \pm F$ с отстройкой 5 кГц. Кроме того, в спектре видны компоненты на частотах $f_0 \pm 2F$, $f_0 \pm 3F$ и т. д. Следует отметить, что мощность на частоте несущего колебания сигнала, излучаемого ПНВА, на 12,2 дБ меньше, чем мощность сигнала, излучаемого МНВА. Разница мощности сигналов ПНВА и МНВА на комбинационных частотах $f_0 \pm F$ составляет 12,21 дБ. Отсюда следует вывод, что соотношение мощности информационного сигнала на частотах $f_0 \pm F$ и мощности сигнала на несущей частоте f_0 одинаковы для случаев ПНВА и МНВА. При этом соотношение мощности информационного сигнала на частотах $f_0 \pm F$ и мощности нелинейных компонентов на

комбинационных частотах $f_0 \pm 2F$ и $f_0 \pm 3F$ лучше для сигнала, излучаемого ПНВА. Подробные численные данные представлены в таблице.

С помощью программного обеспечения анализатора сигналов PXA N9030B для детектирования сигнала были исследованы спектры мощности низкочастотного модулирующего колебания (рис. 4). Из представленных на рисунке спектров видно, что на частоте модулирующего колебания 5 кГц мощность детектированного сигнала для ПНВА и МНВА одинакова и составляет -62,14 дБм. Компонента на второй гармонике модулирующего колебания у сигнала от плазменной несимметричной вибраторной антенны на 8,35 дБ меньше, чем для случая с металлической антенной, что косвенно свидетельствует об улучшении соотношения сигнал/шум при излучении ЧМ-сигнала ПНВА.

Таким образом, в рамках исследования излучения ЧМ-сигнала плазменной и металлической несимметричными вибраторными антеннами было показано, что модулированный сигнал, излучаемый плазменной антенной, в целом не уступает по качеству сигналу от металлической антенны, а по некоторым параметрам даже превосходит. Мощность нелинейных комбинационных частот в спектре ЧМ-сигнала ПНВА заметно ниже, чем в спектре сигнала, излучаемого МНВА. В спектре детектированного сигнала видно снижение мощности на второй гармонике частоты модулирующего колебания для сигнала от плазменной антенны в сравнении с сигналом от металлической антенны.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-08-00859 а.

Полученные результаты были представлены на III Международной научно-практической конференции

Значения мощности ЧМ-сигналов, излучаемых ПНВА и МНВА

Частота	f_0	$f_0 \pm F$	$f_0 \pm 2F$	$f_0 \pm 3F$
Мощность (ПНВА), дБм	-29,98	-60,82	-97,23	≤-100
Мощность (МНВА), дБм	-17,78	-48,61	-76,50	-84,68
Различие между ПНВА и МНВА, дБ	12,2	12,21	20,73	≥15,32

«Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем» («РАДИОИНФОКОМ-2017») [11].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Borg G. G., Harris J. H., Miljak D. G., et al.** Application of Plasma Columns to Radio-Frequency Antennas // *Applied Physics Letters*. 1999. Vol. 74. No. 22. P. 3272.
2. **Rayner J. P., Whichello A. P., Cheetham A. D.** Physical characteristics of plasma antennas // *IEEE Trans. on plasma science*. 2004. Vol. 32. Is. 1. P. 269.
3. **Alexeff I., Anderson T., Parameswaran S., et. al.** Experimental and theoretical results with plasma antennas // *IEEE Trans. on plasma science*. 2006. Vol. 34. Is. 2. P. 166.
4. **Istomin E. N., Karfidov D. M., Minaev I. M., et. al.** Plasma Asymmetric Dipole Antenna Excited by a Surface Wave // *Plasma Physics Reports*. 2006. Vol. 32. Is. 5. P. 388.
5. **Lv J. W. Song Li Y., Li Chen Z.** Two-Dimensional Models of Cylindrical Monopole Plasma Antenna Excited by Surface Wave // *WSEAS Transactions on Communications*. 2011. Vol. 10. Is. 11. P. 323.
6. **Kiss'ovski Z., Vachkov V.** Radiation of Monopole Microwave Plasma Antenna // *International Journal of Engineering & Advanced Technology (IJEAT)*. 2016. Vol. 5. Is. 5. P. 10.
7. **Bogachev N. N., Bogdankevich I. L., Gusein-zade N. G., et al.** Surface wave and linear operating mode of a plasma antenna // *Plasma Physics Reports*. 2015. Vol. 41. Is. 10. P. 792.
8. **Belyaev B. A., Leksikov An. A., Leksikov A. A., et. al.** Nonlinear Behavior of Plasma Antenna Vibrator // *IEEE Trans. on Plasma Science*. 2014. Vol. 42. Is. 6. P. 1552.
9. **Bogachev N. N., Bogdankevich I. L., Gusein-zade N. G.** Operation modes and signal spectra of plasma asymmetrical dipole antenna // 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 2016. doi: 10.1109/EuCAP.2016.7481512.
10. **Богачев Н. Н., Гусейн-заде Н. Г., Нефёдов В. И.** Диаграмма направленности и спектр излучения плазменной несимметричной вибраторной антенны // Сб. тезисов докладов X конференции "Современные средства диагностики плазмы и их применение, 14–16 ноября 2016, г. Москва, С. 25–28.
11. **Богачев Н. Н., Андреев С. Е., Дёмин В. А. и др.** Частотно-модулированный сигнал, излучаемый плазменной несимметричной вибраторной антенной // Сб. научных трудов международной научно-практической конференции "РАДИОИНФОКОМ-2017". Ч. 1. – М., 2017. С. 458.