

В. Е. Пониматкин, А. А. Шпилевой, А. А. Кужелев

К ВОПРОСУ ОБ УВЕЛИЧЕНИИ ДИАПАЗОННЫХ СВОЙСТВ НЕСИММЕТРИЧНОГО ВИБРАТОРА

Обоснована возможность расширения диапазоновых свойств антенн коротковолнового диапазона за счет создания условий постоянства волнового сопротивления. На основе модельных представлений выполнен анализ целесообразных преобразований антенных систем различной конструкции, имеющих в основе несимметричный вибратор.

The possibility of an extended range of properties of shortwave antennas by creating an environment in constancy wave resistance is justified. On the base of model representations, the analysis of the appropriate changes on antenna systems of different designs, are implemented. This systems are based on asymmetrical vibrator.

Ключевые слова: излучатель, заземлитель, сосредоточенная индуктивность, емкостная нагрузка, согласующее устройство, несимметричный вибратор.

Key words: emitter, earthing connection, concentrated inductance, capacitive load, matching device, asymmetrical vibrator.

Системы связи, работающие в коротковолновом диапазоне радиочастотного спектра, повсеместно используют вертикальные несимметричные вибраторы аналогичных конструкций [1]. В качестве простейшего несимметричного вибратора используется модель, показанная на рисунке 1 [2].

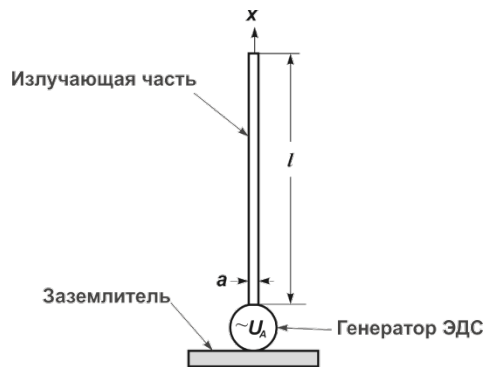


Рис. 1. Несимметричный вибратор

Существует достаточно большое количество различных модификаций несимметричного вибратора [3–5] (рис. 2), содержащих общие структурные элементы:

- 1) излучатель;
- 2) заземлитель;
- 3) генератор ЭДС;
- 4) сосредоточенная индуктивность;
- 5) емкостная нагрузка.

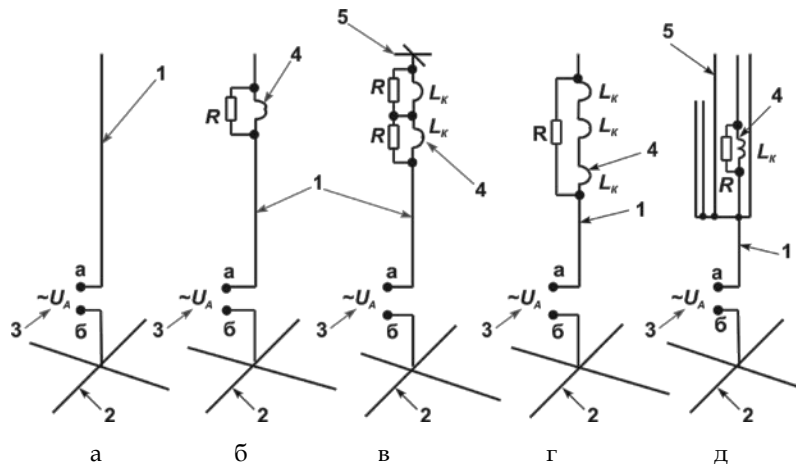


Рис. 2. Варианты конструктивного исполнения несимметричного вибратора:
а – стандартная модель; б – несимметричный вибратор с RL-включением;
в – несимметричный вибратор с двойным RL-включением и емкостной нагрузкой;
г – несимметричный вибратор с тремя индуктивными элементами;
д – несимметричная многовибраторная антенна

Различие несимметричных вибраторов, изображенных на рисунке 2 (б–д) заключается в том, что используется различное количество включенных сосредоточенно индуктивностей, а также емкостных штырей на конце антенны.



При этом генератор электродвижущей силы возбуждает ток в антенне, где элементами для настройки на заданный диапазон частот могут являться сосредоточенно включенные индуктивность и емкость.

Включение индуктивностей в качестве неоднородностей в электрическую схему вертикального несимметричного вибратора количеством более трех нецелесообразно. Объясняется это тем, что суммарная индуктивность увеличивает активное сопротивление провода и, как следствие, уменьшает величину тока в антенне.

Несимметричный вибратор в радиосвязи нашел широкое применение из-за важнейших своих качеств: надежности и простоты изготовления. Однако по диапазонным свойствам вибратор относят к слабодиапазонным. Для увеличения диапазонных свойств $2\Delta f$ антенны применяют различные способы, которые вытекают логически из выражения для оценки этих свойств

$$2\Delta f = \frac{\pi}{4} f_0 \frac{R_A}{W_A}, \quad (1)$$

где f_0 — частота резонансная для антенны, соответствующая режиму собственной длины $\ell = \frac{\lambda}{4}$ вибратора; R_A — активное входное сопротивление антенны; W_A — волновое сопротивление антенны $W_A = \sqrt{L_A/C_A}$.

Анализ выражения (1) показывает, что увеличить диапазонные свойства возможно следующими способами:

- увеличением активного сопротивления антенны R_A или увеличением потерь в антенне;
- уменьшением волнового сопротивления W_A путем увеличения емкости антенны C_A ;
- улучшением согласования входного сопротивления антенны Z_A с волновым сопротивлением питающего фидера;
- включением катушек с двойным назначением как для увеличения длины в низкочастотной области рабочего диапазона, так и для укорочения длины антенны в высокочастотной области;
- включением индуктивных шунтов, для компенсации входного емкостного сопротивления антенны в низкочастотной части рабочего диапазона;
- включением емкостных штырей для компенсации входного индуктивного сопротивления антенны в высокочастотной части рабочего диапазона.

Приведенные способы увеличения диапазонных свойств несимметричного вибратора не в полной мере отражают весь круг возможных технических решений.

Для исследования заменим прямолинейный проводник длиной ℓ , которым является несимметричный вибратор цилиндрической спиралью. Геометрические параметры спиральной антенны приведены на рисунке 3. Цилиндрическая спиральная антенна представляет собой



совокупность нескольких витков провода одинаковых размеров 1, образующих проволочную конструкцию цилиндрической формы, и плоского металлического экрана 2. Для питания спирали используется коаксиальный кабель 3, центральная жила которого подключена к спирали, а экранированная оплетка кабеля — к экрану антенны.

72

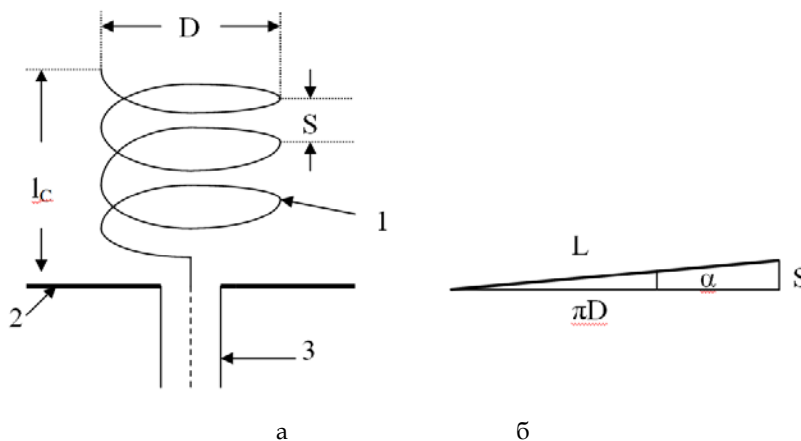


Рис. 3. Параметры спиральной антенны :

a — геометрические параметры спиральной антенны; *б* — развертка витка спирали

Цилиндрическая спираль характеризуется следующими параметрами: длиной витка L , шагом намотки S , длиной антенны $l_c = nS$, числом витков n , диаметром цилиндра D . Направленные свойства такой спиральной антенны зависят от соотношения между ее размерами и длиной волны излучаемого поля. Если длина волны существенно превосходит диаметр витков спирали ($\lambda > 6D$) и каждый виток можно принять за плоскую элементарную рамку, то такую антенну можно рассматривать как совокупность магнитных и электрических диполей, оси которых параллельны оси спирали (рис. 4).

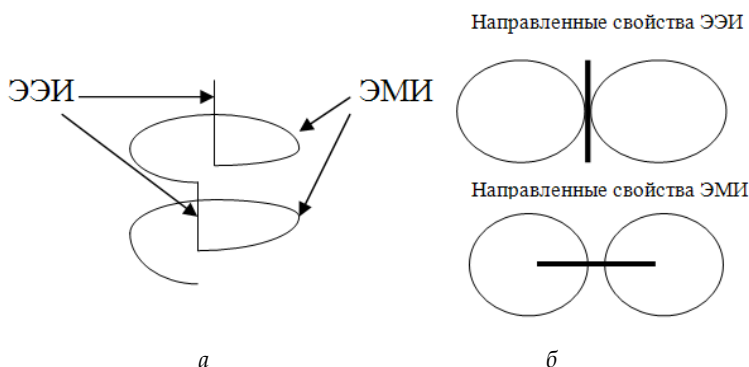


Рис. 4. Спиральная антенна в виде магнитных и электрических диполей:

a — спиральная антенна в виде элементарных электрических (ЭЭИ) и магнитных (ЭМИ) излучателей; *б* — направленные свойства ЭЭИ и ЭМИ



Из рисунке 4, б видим, что направленные свойства при заданных условиях $\lambda > 6D$, для ЭЭИ и ЭМИ совпадают. Поэтому диаграмма направленности цилиндрической спиральной антенны в меридиальной плоскости, то есть в плоскости, совпадающей с осью антенны, имеет вид *восьмерки*, а в экваториальной плоскости, перпендикулярной оси спирали, представляет собой *окружность*.

Сопротивление излучения оказывается очень малым и коэффициент полезного действия (КПД) получается низким. Поэтому спиральные антенны малых размеров на практике не применяются. Действительно, при $\lambda > 6D$ сопротивление излучения мало.

Учитывая, что

$$R_{\Sigma} = 320\pi^2 \frac{S^2}{\lambda^4},$$

$$R_A = R_{\Sigma} + R_{\Pi} = 140 \frac{L}{\lambda},$$

КПД антенны

$$\eta = \frac{R_{\Sigma}}{R_A} = 2,285 \frac{\pi^2 S^2}{L\lambda^3}.$$

Представленные результаты говорят, что направленные свойства цилиндрической антенны совпадают с направленными свойствами несимметричного вибратора.

Пусть несимметричный вибратор представляется моделью, показанной на рисунке 5. Общая длина антенны, принятая для работы на излучение в коротковолновом диапазоне радиочастотного спектра, составляет 10 метров. При этом верхняя часть длиной 3 метра выполнена цельнометаллическим стержнем. Нижняя часть длиной 7 метров — в виде цилиндрической спирали. Между нижней и верхней частями располагается согласующее устройство.

Экспериментальные исследования показывают, что для получения экваториального излучения угол наклона витка должен быть $\alpha > 24^\circ$. В то же время

$$\alpha = \arctg \frac{S}{\pi D} = 24^\circ.$$

Решая последнее выражение, можно обосновать связь между шагом намотки S и диаметром D антенны

$$S = 1,398D.$$

Длина провода ℓ в семиметровой цилиндрической спирали H определяется следующим соотношением:

$$\sin 24^\circ = \frac{H}{\ell} = 0,406, \quad \ell = \frac{H}{0,406} = \frac{7}{0,406} = 17,24 \text{ м.}$$

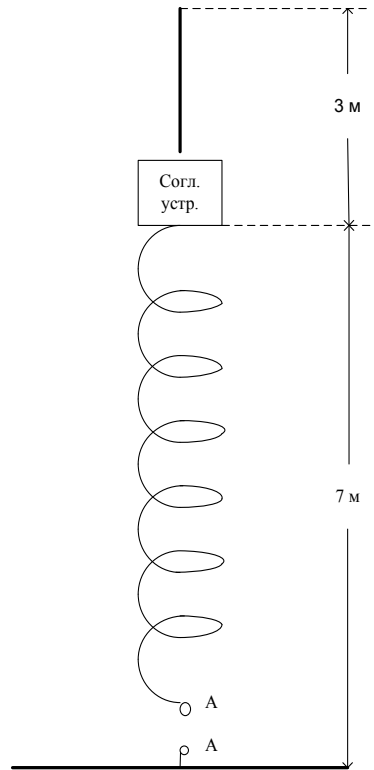


Рис. 5. Модель несимметричного вибратора

Количество витков n , которые уложены на длине $H = 7$ метров,

$$n = \frac{H}{S} = \frac{700}{1,389D} = \frac{500,7}{D},$$

откуда

$$nD = 500,7. \quad (2)$$

Если принять, что $D = 10$ см, то количество витков из выражения (2) $n = 50$.

Индуктивность однослойной цилиндрической катушки определится как

$$L = \frac{(\pi n D)^2}{\ell + 0,45D} = 1426 \cdot 10^{-9} \text{ Гн},$$

где D, ℓ — диаметр и длина катушки в сантиметрах, причем выражение справедливо при $0,3D < \ell$.

Погонная индуктивность цилиндрической спирали $203,7 \cdot 10^{-9}$ Гн/м.

Собственная емкость межвитковая для цилиндрической спирали для резонансной частоты f_r определится выражением

$$C_L = \frac{1}{(2\pi f_r)^2 L} = \frac{1}{\omega^2 L}.$$



Расчеты показывают, что межвитковая емкость для 50 витков с диаметром витка 10 сантиметров будет составлять 1,51 пФ и погонная емкость $0,216 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Волновое сопротивление антенны из цилиндрической спирали

$$W_A = \sqrt{\frac{L_A}{C_A}} = \sqrt{\frac{203,7 \cdot 10^{-9}}{0,216 \cdot 10^{-12}}} = 971 \text{ Ом.}$$

Если волновое сопротивление питающего фидера W_ϕ :

– 50 Ом, то необходимо уменьшить волновое сопротивление антенны в K раз или $K = W_A / W_\phi \approx 20$;

– 100 Ом, то необходимо уменьшить волновое сопротивление антенны в 10 раз.

Резонансная частота f_r для антенны определится формулой

$$f_r = \sqrt{\frac{1}{4\pi^2 LC}} = 10,85 \text{ МГц.}$$

Уменьшить волновое сопротивление возможно увеличением межвитковой емкости с одновременным уменьшением индуктивности витков. Для выполнения подобных требований целесообразно:

– сократить длину витка для протекания тока не уменьшая диаметра спирали;

– увеличить емкость межвитковую, заменив виток провода витком плоским (рис. 6).

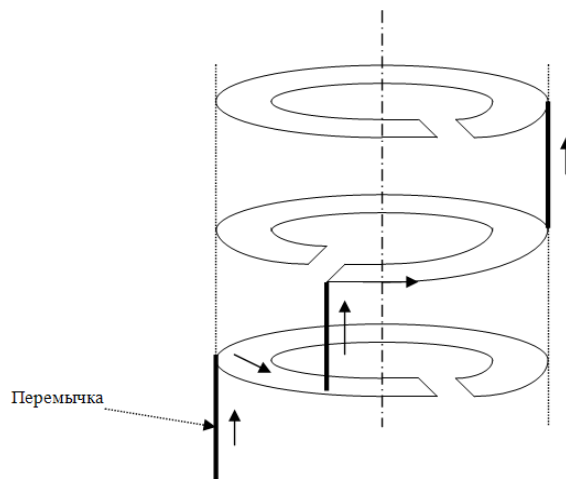


Рис. 6. Модель несимметричного вибратора из пластин

На рисунке 6 приведено конструктивное исполнение несимметричного вибратора, который состоит из изолированных друг от друга круглых металлических разрезных пластин. Они соединены между собой перемычками. Точки подключения перемычек к металлическим пластинам должны быть подобраны исходя из требований к погонным параметрам емкости и индуктивности. Электрический ток генератора



протекает по цепи образованной перемычками и металлическим пластинам. Причем ток протекает не по всей пластине, а по ее части, что уменьшает индуктивность антенны. При этом части каждой из пластин, по которым не протекает ток, будут находиться под потенциалом, что увеличит погонную емкость антенны.

Экспериментальные методы отдельного определения влияний на емкостную и индуктивную части основаны на измерении токов и напряжений в цепях, когда между цепями существует в основном либо электрическое, либо магнитное поля [2–4]. Эти условия создаются в коротких по сравнению с рабочей длиной волны отрезках линий при режимах холостого хода (электрическое поле) и короткого замыкания (магнитное поле). Поэтому предстоит выполнить измерения в режиме холостого хода для определения и корректировки межвитковой емкости. Напряжение источника должно подаваться на пластины, как это показано на рисунке 7.

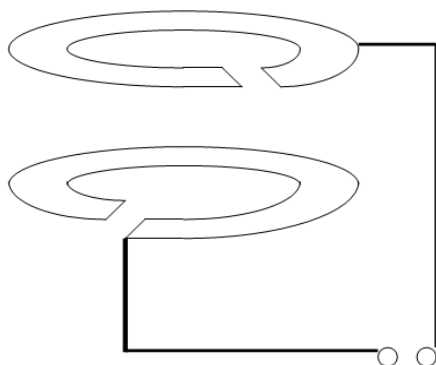


Рис. 7. Измерение межвитковой емкости в режиме холостого хода

Выполнить измерения в режиме короткого замыкания для определения и корректировки погонного индуктивного сопротивления также не составляет труда. Напряжение источника должно подаваться на пластины, как это показано на рисунке 8.

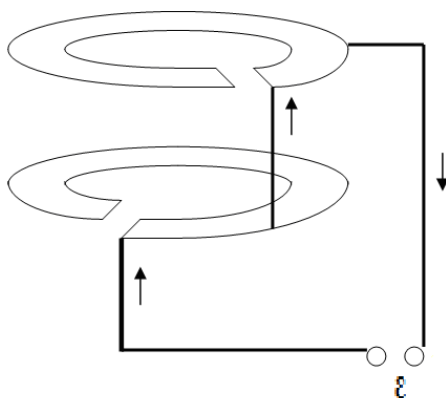


Рис. 8. Измерение погонного индуктивного сопротивления в режиме короткого замыкания



Для определения допустимых погонных параметров цилиндрической спирали необходимо проведение дополнительных исследований. При этом должны быть учтены следующие вопросы:

- как изменяется сопротивление излучения антенны;
- как влияет увеличение емкости антенны на входное сопротивление антенны;
- как согласовать входное сопротивление трехметровой части цельнометаллического штыря.

Таким образом, выявлены дальнейшие направления совершенствования параметров штыревой антенны на основе увеличения диапазоновых свойств. Результатом стала разработанная и предложенная для рассмотрения физическая модель антенны. Она позволяет открыть ряд направлений для исследований по созданию штыревых антенн:

- исследование предложенной модели как варианта, описанного и предложенного для рассмотрения;
- рассмотрение других вариантов, в которых поиск возможен через заданные параметры дисперсионной среды и ее использования.

Список литературы

1. Гончаренко И. В. Антенны КВ и УКВ. Часть II. Основы и практика. М., 2005.
2. Айзенберг Г. З. Коротковолновые антенны. М., 1962.
3. Пистолькорс А. А. Антенны. М., 1947.
4. Муравьев Ю. К. Справочник по расчету проволочных антенн. Л., 1978.
5. Balanis C. A. Modern antenna handbook. N. Y., 2008.

Об авторах

Виктор Ефимович Пониматкин — канд. тех. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Андрей Алексеевич Шпилевой — канд. физ.-мат. наук, доц., директор Физико-технического института, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.
E-mail: AShpilevoi@kantiana.ru

Александр Александрович Кужелев — адъюнкт, филиал ВУНЦ ВМФ «ВМА», Калининград.
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

About the authors

Dr Viktor Ponimatkin — Senior Research Fellow, Ass. Prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Dr Andrey Shpilevoy — Ass. Prof., director of Institute of Physics and Technology, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.
E-mail: AShpilevoi@kantiana.ru

Aleksander Kuzelev — PhD student, MESC MMF «VMF», Kaliningrad.
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru