

Министерство образования и науки Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тульский государственный университет»**

ISSN 2071-6168

**ИЗВЕСТИЯ
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Выпуск 5

**Тула
Издательство ТулГУ
2016**

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

В. П. Кисмерешкин, Д. В. Риттер. Возможность применения малогабаритных магнитных антенн для радиосвязи земной волной

В. А. Майстренко, В. В. Майстренко, В. П. Пивоваров, А. В. Зубарь, К. В. Кайков. Разработка эффективных алгоритмов восстановления искаженных изображений для оптико-электронной стереосистемы определения дальности

В. С. Будяк, Д. В. Сидоров, Т. Б. Клименко. Электромагнитная обстановка автоматизированных модульных узлов радиосвязи

Г. М. Сидельников, А. С. Синявская. Межсимвольная интерференция сигналов с ФРМ и ФМ в каналах с дискретной многолучевостью

И. В. Веремеев, В. А. Аржанов. Основные подходы к разработке современных перестраиваемых и переключаемых высокочастотных ПАВ-фильтров

ИЗДАТЕЛЬСКОЕ ДЕЛО. ПОЛИГРАФИЯ

С. Н. Литунев, О. А. Тимощенко, Е. Н. Гусак. Моделирование течения краски в красочном аппарате печатной машины с пассивным активатором

И. А. Сысуев, А. Ю. Захаров, Е. Н. Гусак. Особенности верстки научных журналов

УДК 621.396.674.1

В. П. КИСМЕРЕШКИН
Д. В. РИТТЕР

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ МАГНИТНЫХ АНТЕНН ДЛЯ РАДИОСВЯЗИ ЗЕМНОЙ ВОЛНОЙ

Для обеспечения связи в труднодоступных районах, в морях, в полярной зоне и т.д. в военных и гражданских целях большое значение имеет мобильное радиооборудование. Особое место занимает диапазон средних волн (СВ), в котором существует возможность создания радиоканалов земных волн. Одна из основных проблем в подвижных радиосистемах на земных волнах — размеры и эффективность антенно-фидерного оборудования. Принято, что электрические размеры антенны определяются произведением kr , где r — минимальный радиус условной сферы, в которую может быть помещена антенна, k — волновое число. При $kr > 1$ антенны относят к полноразмерным, при $kr \leq 1$ антенны счи-

тают малогабаритными (МА). В диапазоне СВ полноразмерные антенны занимают десятки метров. Поэтому вопрос уменьшения размеров антенны с максимально возможным сохранением эффективности — актуальная задача на сегодняшний день.

Среди существующих вариантов таких антенн принято выделять два направления: антенны электрического (вибраторные) и магнитного (рамочные) типов. Установлено [1], что антенны электрического типа имеют значительно больший уровень реактивного сопротивления X_d , растущий с уменьшением размеров, чем магнитные антенны, у которых X_d при укорочении уменьшается. Также у магнитных антенн X_d не зависит от условий ближней зоны. Эти факты

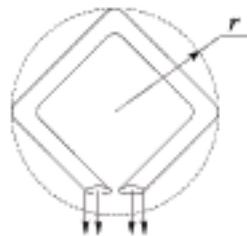


Рис. 1. РКА (0,7×0,7 м), радиус условной сферы $r \approx 0,5$ м

приводят к преимуществу магнитных антенн перед вибраторными как по потерям в ближней зоне, так и по настройке и согласованию. Следовательно, в подвижных радиосистемах эти антенны предпочтительнее.

Тем не менее магнитные антенны имеют ряд существенных недостатков, присущих многим МА: растущие потери при уменьшении размеров, сложность резонансной перестройки в широкой полосе частот с сохранением КСВн и эффективности. Таким образом, усилия разработчиков направлены на повышение основного параметра МА — действующей высоты h_A .

В работе представлены результаты экспериментов по оптимизации h_A рамочной МА повышенной эффективности (рамочной коаксиальной антенны, РКА) с электрическими размерами $kr \approx 0,02$ (рис. 1). Диапазон рабочих частот РКА: 1,5–2,5 МГц.

Особенность антенны в том, что излучатель представляет собой коаксиальный кабель, в котором с помощью фазировки текущих по проводникам токов производится умножение тока и мощности излучения. Схема согласования позволяет согласовать антенну с 50-омным трактом с КСВн < 1,2. Эксперименты с РКА проводились на стенде в поле колец Гельмгольца. Каждое из колец представляет собой один виток проводника с периметром $p_{KT} = 5,6$ м.

Определим h_A . Напряженность поля, формируемого кольцами Гельмгольца [2]:

$$H = (0,8)^{1/2} \frac{nI}{R_{KT}}, \quad (1)$$

где n — количество витков в каждом из колец, I — ток, текущий по кольцам, R_{KT} — радиус колец;

$$R_{KT} = \frac{p_{KT}}{4\sqrt{\pi}}. \quad (2)$$

С учетом характеристического импеданса свободного пространства Z_0 [3]

$$h_A = \frac{U_{ВМХ}}{E_{KT}} = \frac{U_{ВМХ}}{Z_0 H_{KT}} = 0,148 \frac{U_{ВМХ}}{U_{KT}}, \quad (3)$$

где U_{KT} — напряжение, подводимое к кольцам.

По результатам экспериментального исследования РКА в поле колец Гельмгольца построен график h_A , рассчитанный по (3) (рис. 2) и график изменения добротности Q по частоте (рис. 3). В качестве излучателя использовался коаксиальный кабель с волновым сопротивлением $W = 50$ Ом.

По формуле

$$R_z = 20(kh_A)^2 \quad (4)$$

можно определить, что сопротивление излучения РКА R_z составляет порядка 1 Ом. При сопротивлении потерь R_{π} около 10 Ом, КПД $\approx 0,1$.

С учетом полученных значений можно оценить возможность применения разрабатываемых антенн на радиотрассе земной волны, например, для прибрежной и морской зон, где средняя соленость воды ($\sigma = 5$ См/м, $\epsilon = 70$), по графикам МСЭ «Кривые распространения земной волны для частот между 10 кГц и 30 МГц» [3]. Дальность связи 25 км и мощность приемопередатчика 10 Вт.

Напряженность поля E'_0 формируемого изотропным излучателем в свободном пространстве на расстоянии 1 км от излучателя [4] в зависимости от подводимой к антенне мощности P_e :

$$E'_0 = 5470 \sqrt{P_e}, \text{ [мкВ/м]}. \quad (5)$$

При мощности $P_e = 10$ Вт, $E'_0 = 17,3$ мВ/м.

КНД рамочной МА в свободном пространстве равен 2,14 дБ в сравнении с изотропным излучателем.

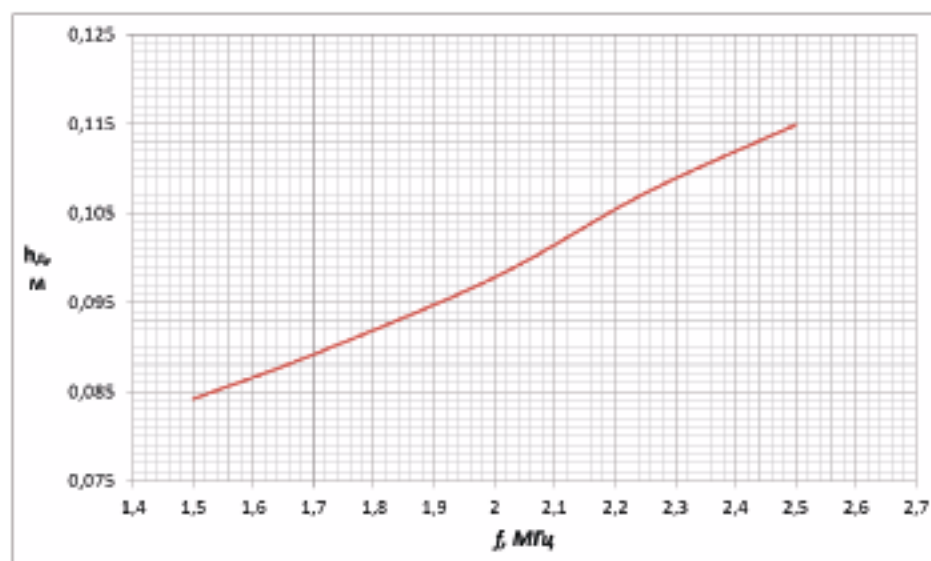


Рис. 2. График действующей высоты РКА

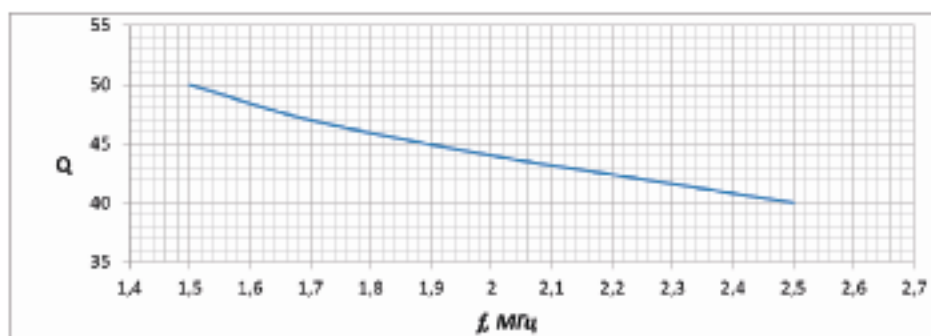


Рис. 3. График добротности РКА

С учётом реальных условий влияния земли $KHД \approx (3+5)$ dBi. Взяв $KПД=0,1$, а $KHД=3$ dBi (1,41 раза), напряженность поля, формируемого РКА, равна

$$E_0 = E'_0 \cdot KПД \cdot KHД = 2,42 \text{ мВ/м.} \quad (6)$$

Для выбранной радиотрассы на расстоянии 25 км уровень сигнала падает примерно в 30 раз [4]. Напряженность поля в точке приема

$$E_{пр} = E_0 / 30 = 81 \text{ мкВ/м.} \quad (7)$$

Уровень шума в приемной антенне, используя медианное значение шума согласно рекомендациям МСЭ-R P.372-9 «Радишум» [5], определяется как

$$E_{ш} = F_{ш} + 20 \log(f_{MHz}) + 10 \log(B) - 99, \quad (8)$$

где $E_{ш}$ выражено в дБ к 1 мкВ/м и

$$B = 10 \log(b),$$

где b — ширина полосы приемной антенны в Гц. $F_{ш}$ — коэффициент шума, который находится из [5].

Для частоты 2 МГц медианное значение напряженности шума в непромышленной зоне:

$$E_{ш} = 70 + 20 \log(2) + 10 \log(40000) - 99 = 23 \text{ дБ}$$

или

$$E_{ш} = 14 \text{ мкВ/м.}$$

Отсюда отношение сигнал/шум для выбранной радиотрассы

$$\frac{C}{ш} = \frac{P_{пр}}{P_{ш}} = 15 \text{ дБ,}$$

где $P_{ш} = \frac{(E_{ш} h_A)^2}{R_{вх}}$ и $P_{пр} = \frac{(E_{пр} h_A)^2}{R_{вх}}$, $R_{вх}$ — общее сопротивление по входу приемника, $P_{ш}$ и $P_{пр}$ — мощ-

ности шума и полезного сигнала соответственно, индуцирующие ЭДС в антенне.

Таким образом, рамочные коаксиальные антенны, в основе работы которых лежит принцип умножения тока, имеют высокую действующую высоту (около 0,1 м, для сравнения у полноразмерного несимметричного вибратора высотой примерно 30 м действующая высота равна примерно 18 м) и высокую добротность (40+50). Также в исследованных антеннах возможно согласование с трактом приемопередатчика с уровнем КСВ $\leq 1,2$, что позволяет предположить осуществление эффективной радиосвязи на расстоянии 25 км при мощности 10 Вт и отношении сигнал/шум порядка 15 дБ.

Библиографический список

1. Кинг, Р. Антенны в материальных средах. В 2 кн. Кн. 2 / Р. Кинг, Г. Смит; пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 824 с.
2. Кольца Гельмгольца [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Кольца_Гельмгольца (дата обращения: 12.12.2013).
3. Кривые распространения земной волны для частот между 10 кГц и 30 МГц [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-t/rec/p/R-REC-P.368-9-200702-I!!PDF-R.pdf (дата обращения: 12.12.2013).
4. Мейнке, Х. Радиотехнический справочник. В 2 т. Т. 1 / Х. Мейнке, Ф. В. Гундах. — М., Л.: Гос. энерг. изд-во, 1960. — 417 с.
5. Радишум [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-t/rec/p/R-REC-P.372-9-200708-S!!PDF-R.pdf (дата обращения: 12.12.2013).

КИСМЕРЕШКИН Владимир Павлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Средства связи и информационная безопасность».

КОЛЕСНИКОВ Андрей Викторович, аспирант кафедры «Средства связи и информационная безопасность».

Адрес для переписки: omstu.svch@mail.ru