

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

ПЕРЕДАЮЩАЯ АНТЕННАЯ СИСТЕМА ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

Представлена разработка передающей антенной системы, имеющей преимущества при использовании в условиях надводного корабля, судна: постоянство тока в антенне вне зависимости от рабочей частоты, уменьшенные размеры и масса, снижение влияния излучения системы на электромагнитную обстановку судна, упрощения системы согласования фидера с антенной; повышение мощности излучения передающей системы.

Presents the development of the transmitting antenna system has advantages when used in a ship: the constancy of the antenna current is independent of the operating frequency, reduced size and weight, reduce the impact of radiation on the electromagnetic environment of the ship, simplifying the coordination of feeder to the antenna; increase in the radiation power transmitting system.

Ключевые слова: цилиндрический излучатель, малогабаритный антенный модуль, согласующее устройство, емкостная нагрузка, активный наполнитель.

Key words: cylindrical emitter, compact antenna module, a matching device, capacitive load, active filler.



Актуальность данной работы определяется действующей программой строительства кораблей и судов в РФ, обладающих архитектурой с малой эффективной площадью рассеивания электромагнитных волн. Для таких судов требуются новые способы размещения антенных систем, одним из которых является интеграция антенной системы в конструкцию судна [1]. Вопросы разработки малогабаритных антенных устройств остаются актуальными для всех диапазонов радиочастот, так как эффективность излучения любой антенны во многом зависит от соотношения между ее физическими размерами и длиной волны. Известно, что оптимальный размер несимметричного вибратора равен четверти длины волны [2–4]. Это тот наименьший размер, при котором возможен резонанс антенны как колебательного контура, что обеспечивает чисто активное входное сопротивление и облегчает согласование с фидером. При уменьшении физических размеров вибратора возрастает емкостная реактивная составляющая входного сопротивления антенны, что не позволяет эффективно передавать энергию из фидера в антенну. Кроме того, уменьшение физических размеров снижает емкость антенны, что ведет к увеличению ее добротности, а следовательно, и к ухудшению диапазонных свойств [2].

Для разработки антенны выбран сильно укороченный несимметричный вибратор в виде цилиндрического излучателя с верхним питанием, с высотой антенны $h = 40$ см и с радиусом цилиндра $R = 40$ см, размещенными на корпусе корабля. Такая высота антенны приемлема для кораблей и судов, на которых верхняя палуба необходима для размещения вспомогательных технических устройств различного назначения. С увеличением радиуса R растет и входное сопротивление $R_{вх}$. Так как активная часть сопротивления связана с сопротивлением излучения, то оно также будет иметь небольшие значения. Например, при подаче напряжения в 1 В на антенну излученная мощность будет составлять тысячные-десятые доли милливатта. Однако, используя фазированную антенную решетку, можно получить необходимые параметры излучения, учитывая, что за счет сложения мощности в пространстве от N излучателей мощность излучения значительно увеличивается [3; 4].

Из анализа выражений для магнитной \mathbf{H} и электрической \mathbf{E} составляющих [5] следует, что:

- напряженность поля, создаваемая вибратором, зависит от объема поля, в котором оно сосредоточено;
- значение векторных величин \mathbf{E} и \mathbf{H} уменьшается с увеличением длины волны при неизменности геометрических размеров излучателя;
- геометрические размеры антенны оказывают влияние на напряженность поля, поэтому, уменьшая размеры излучателя, следует для увеличения напряженности поля в объеме увеличивать ток в антенне.

При этом возможны два подхода. Первый состоит в том, чтобы, укорачивая антенну, увеличивать ток в ней. Данный путь не изменяет электромагнитную обстановку (ЭМО).

Второй путь, используемый при построении данной антенной системы, нацелен на поддержание в антенне незначительного, но неизменного во всем диапазоне частотного спектра тока, не оказывающего существенного влияния на ЭМО. При этом уровень излучаемой мощности достигается сложением в пространстве электромагнитных полей



маломощных излучателей. Для воплощения второго подхода должна быть построена антенная система в виде фазированной антенной решетки (ФАР) [2].

На рисунке 1 представлен принцип размещения антенных модулей 1 на металлической поверхности 2 корпуса корабля (судна). Антенный модуль находится под напряжением, поэтому он изолирован от металлической поверхности корпуса изолятором 10.

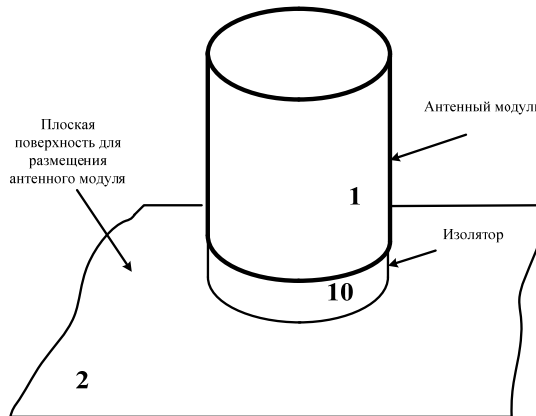


Рис. 1. Размещение передающего антенного модуля на горизонтальной поверхности

Размещение модулей может быть произвольным, в удобных для подвижного объекта местах. Количество антенных модулей определено необходимой мощностью излучения. Фазирование в нашем случае осуществляется за счет использования питающих кабелей одинаковой длины (от согласующего устройства до антенных модулей). Общая функциональная схема фазированной решетки показана на рисунке 2.

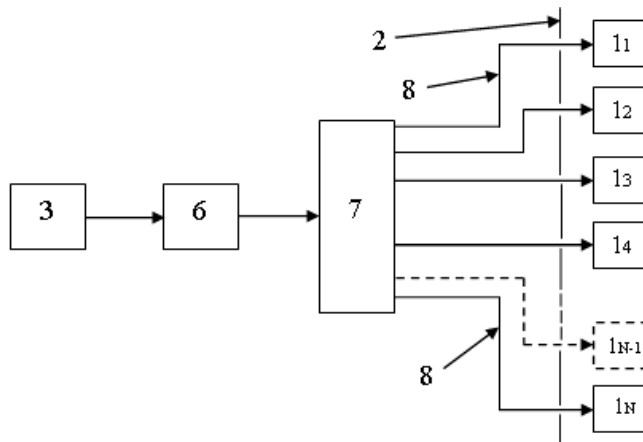


Рис. 2. Структурная схема передающей антенной системы

Передающая антенная система содержит:

- высокочастотный генератор 3;
- усилитель мощности 6;
- согласующее устройство 7;
- N антенных модулей $1_1, 1_2, 1_3, 1_4, \dots, 1_{N-1}, 1_N$, размещенных на металлической поверхности корпуса корабля 2;
- фидерные линии (коаксиальный кабель) 8.

Настроенный на заданную частоту $f_{ген}$ высокочастотный генератор возбуждает усилитель мощности на рабочей частоте $f_{ген}$. Усилитель увеличивает колебания до заданной выходной мощности. Эта мощность поступает на вход согласующего устройства. Согласующее устройство (рис. 3) обеспечивает передачу по N выходам равной мощности на N антенных модулей.

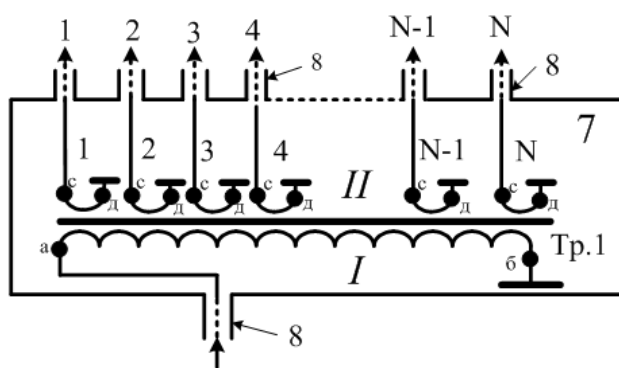


Рис. 3. Согласующее устройство передающей антенной системы

Равенство мощностей на каждом выходе согласующего устройства достигается за счет установленного равного отношения (K) числа витков в каждой вторичной обмотке ($n_{вт}$) к виткам первичной обмотки ($n_{пр}$):

$$K = (n_{вт}) / (n_{пр}).$$

Каждый из N выходов согласующего устройства подключен к собственному антенному модулю с помощью коаксиального кабеля.

На рисунке 4 представлено сечение одного из N малогабаритных антенных модулей передающей антенной системы (например, 1_N). Здесь:

- 1 – излучатель (несимметричный вибратор) или антенный модуль;
- 3 – высокочастотный генератор;
- 6 – усилитель мощности;
- 7 – согласующее устройство;
- 8 – коаксиальный кабель;
- 2 – металлическая поверхность корпуса корабля (судна);
- 4 – экспоненциальная нагрузка цилиндрического излучателя;
- 9 – активный наполнитель цилиндрического излучателя с параметрами $\epsilon = 10$ и $\mu = 10$;
- 10 – изолятор.

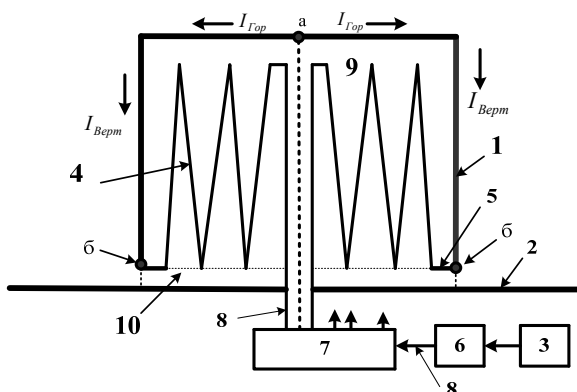


Рис. 4. Малогабаритный антенный модуль передающей антенной системы

Электрическая энергия высокочастотного генератора поступает по коаксиальному кабелю в точку «а», в точку верхнего питания антенного модуля, который представляет собой закрытый с одной стороны цилиндр диаметром 40 см, с другой стороны цилиндр подключен через емкостную нагрузку к экспоненциальной нагрузке, заземленной на экранную оболочку коаксиального кабеля, экспоненциальная нагрузка размещена в активном наполнителе цилиндрического излучателя с параметрами $\epsilon = 10$ и $\mu = 10$. Емкостная нагрузка есть емкость, образованная между нижней частью излучателя и металлическим корпусом корабля за пределами клеммы «б».

Токи $I_A = I_{Гор}$, текущие от точки питания «А» по поверхности закрытой, верхней части антенны по направлению к цилиндрической поверхности, как видно из рисунка 4, разнонаправленные, поэтому электромагнитное поле излучения не создают. Токи $I_A = I_{Верм}$, протекающие по цилиндрической поверхности одного направления, образуют поле излучения модуля. Высота (или длина) цилиндрической антенны $h = 40$ см, что соответствует отрицательному сопротивлению в единицы КОм. Для компенсации отрицательного сопротивления к цилиндрической части антенны в точках «б» включен блок, называемый экспоненциальной нагрузкой, который расположен внутри цилиндра излучателя и заполнен искусственной средой – активным наполнителем с установленными параметрами $\epsilon = 10$ и $\mu = 10$. Экспоненциальная нагрузка заземлена на экранную оболочку коаксиального кабеля и имеет емкостную составляющую вблизи клеммы «б». Экспоненциальная линия является нагрузкой цилиндрического излучателя, причем обеспечивает равномерную нагрузку во всем диапазоне рабочих частот от 3 до 30 МГц. Известно, что коэффициент распространения электромагнитных волн k определен свойствами параметров сред $\epsilon\mu$ следующей зависимостью: $k = \omega\sqrt{\epsilon\mu}$. Экспоненциальная линия введена для выравнивания сопротивления различных частот за счет взаимного сопротивления между параллельными линиями, образующими двухпроводные экспоненциальные короткозамкнутые линии.

Работа цилиндрического излучателя совместно с экспоненциальной и емкостной нагрузками в активном наполнителе исследована и показала хорошие результаты, представленные на рисунке 5. На графиках показаны значения входного сопротивления антенны при размещении экспоненциальной нагрузки в активный наполнитель со следующими параметрами: 1) $\epsilon = 1$ и $\mu = 100$; 2) $\epsilon = 100$ и $\mu = 1$; 3) $\epsilon = 10$ и $\mu = 10$.

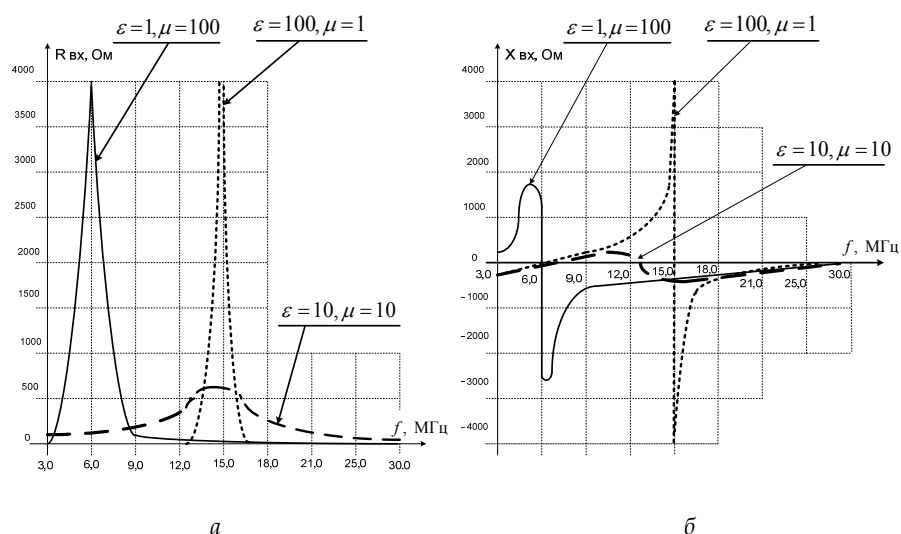


Рис. 5. Активная (а) и реактивная (б) составляющие входного сопротивления антенной системы

Если параметры $\epsilon = 1$ и $\mu = 100$, то цилиндрический излучатель имеет резонанс на частоте 6 МГц. При $\epsilon = 100$ и $\mu = 1$ цилиндрический излучатель обеспечивает резонанс на частоте 15 МГц. Если $\epsilon = 10$ и $\mu = 10$, то излучатель не имеет острого резонанса, и характеристическое сопротивление изменяется плавно. Поэтому за основу разработки антенного модуля принята среда с параметрами $\epsilon = 10$ и $\mu = 10$. В качестве наполнителя с подобной диэлектрической проницаемостью может использоваться титанат бария.

Таким образом, разработанная антенная система состоит из N излучателей, или малогабаритных антенных модулей, согласующего устройства на N каналов, экспоненциальной нагрузки и емкостной нагрузки цилиндрического излучателя, размещенной в активном наполнителе с параметрами $\epsilon = 10$ и $\mu = 10$.

Список литературы

1. Типикин А.А., Пониматкин В.Е., Кужелев А.А. Корабельная передающая антенная система : пат. РФ на полезную модель № 156521 по заявке № 2014154421.
2. Гончаренко И.В. Антенны КВ и УКВ. М., 2005. Ч. 2 : Основы и практика.



3. *Айзенберг Г.З.* Коротковолновые антенны. М., 1962.
4. *Пистолькорс А.А.* Антенны. М., 1947.
5. *Муравьев Ю.К.* Справочник по расчету проволочных антенн. Л., 1978.

Об авторах

Виктор Ефимович Пониматкин — канд. техн. наук, ст. науч. сотр., доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Андрей Алексеевич Шпилевой — канд. физ.-мат. наук, доц., 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 FTI, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: AShpilevoi@kantiana.ru

Aleksander Kuzelev, PhD student, MESC MMF «VMF», Kaliningrad.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru