

УДК 539.143:539.183

*В. Е. Пониматкин, А. А. Кужелев
А. А. Шпилевой, Т. А. Карпинская*

ПЕРЕДАЮЩАЯ АНТЕННАЯ СИСТЕМА СУДНА

68

Статья посвящена разработке передающей антенной системы, характеризующейся повышенным коэффициентом бегущей волны тока. Она реализует один из путей создания фазированных антенных решеток коротковолнового и ультракоротковолнового диапазонов в условиях ограниченной поверхности их размещения на судах с целью улучшения электромагнитной обстановки работы радиоэлектронных средств.

The article is devoted to the development of a transmitting antenna system, characterized by an increased coefficient of the traveling current wave, realizing one of the ways to create phased antenna arrays of the short wave and ultrashort wave bands, in the conditions of the limited surface of their placement on ships, in order to improve the electromagnetic environment of radio electronic means.

Ключевые слова: антенно-фидерное устройство, постоянная погонная емкость, электромагнитная совместимость, коэффициент бегущей волны тока.

Keywords: antenna-feeder device, constant linear capacity, electromagnetic compatibility, traveling current wave ratio.

На морских судах в основном используются как в качестве приемных, так и в качестве передающих штыревые антенны коротковолнового (КВ) и ультракоротковолнового (УКВ) диапазонов с относительно низкими техническими характеристиками, что является причиной следующих недостатков:

- 1) имеет место неравномерность согласования антенны с фидером на некоторых участках рабочих частот, в связи с чем требования по согласованию (коэффициент бегущей волны (КБВ) — от 0,2 до 0,4) не обеспечиваются, а коэффициент полезного действия (КПД) систем РПДУ-АФУ (радиопередающее антенно-фидерное устройство) и АФУ-РПУ (антенно-фидерное радиоприемное устройство) весьма мал;
- 2) низкие массогабаритные характеристики (МГХ) штыревых АФУ;
- 3) сложность в выполнении требований электромагнитной совместимости (ЭМС) — непреднамеренные помехи в виде паразитных наводок на приемные АФУ от первичных и вторичных источников электромагнитного излучения [1].

Известно, что несимметричный вибратор (или штыревая антенна) занимает малую площадь при размещении, поэтому повсеместно используется на судах и других подвижных объектах. Однако все большее

распространение приобретает направление в исследованиях по созданию малогабаритных антенных устройств с высокими параметрами по диапазонным и направленным свойствам [2–4].

Используем в качестве прототипа полезную модель патента 176449 по заявке №2017125585 от 17.07.2017 г. [5], которая представляет собой антенную систему (рис. 1), состоящую из N излучателей – антенных модулей 1 (рис. 2), согласующего устройства на N каналов 7, усилителя мощности 6 и генератора 3, соединенных фидерными линиями 8. Каждый из антенных модулей представляет собой цилиндрический излучатель (рис. 2), состоящий из N кольцеобразных разрезных пластин ($\Pi_1 \dots \Pi_N$), изолированных друг от друга и соединенных с помощью перемычек ($a-b$). Площадь пластин увеличивается пропорционально уровню размещения пластины по высоте цилиндрического излучателя. Верхняя пластина цилиндра соединена с экспоненциальной нагрузкой 4, размещенной в активном наполнителе 9 с параметрами $\epsilon = 10$ и $\mu = 10$. Рабочий частотный диапазон антенного модуля составляет от 3 до 30 МГц с коэффициентом бегущей волны тока в нем в пределах 0,6.

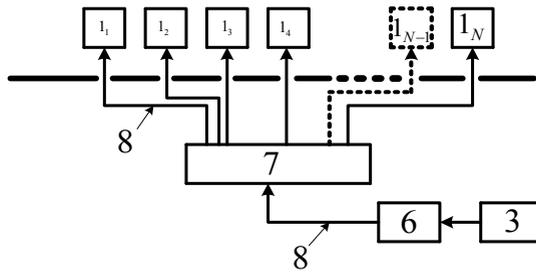


Рис. 1. Структурная схема передающей антенной системы по патенту 176449

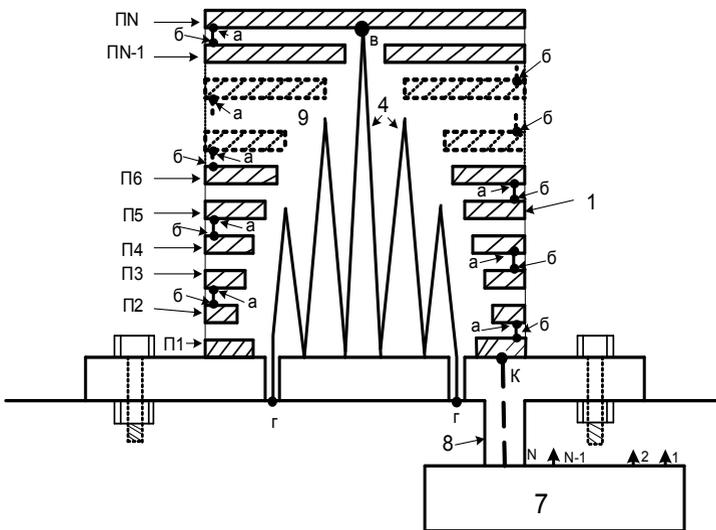


Рис. 2. Антенный модуль корабельной передающей антенной системы по патенту 176449

В указанной полезной модели определен путь увеличения диапазонных свойств антенны на основе понижения погонного волнового сопротивления антенны. Причем важным является создание равного погонного волнового сопротивления вдоль всей длины ℓ антенны или цилиндра. Достигается это созданием дополнительной емкости в несимметричном вибраторе, выполненном в виде непрерывно расположенных по высоте металлических изолированных друг от друга плоских пластин (рис. 3). При этом площадь пластин с высотой меняется в сторону увеличения на основе того, что погонная индуктивность несимметричного вибратора неизменна по длине, а погонная емкость уменьшается с высотой.

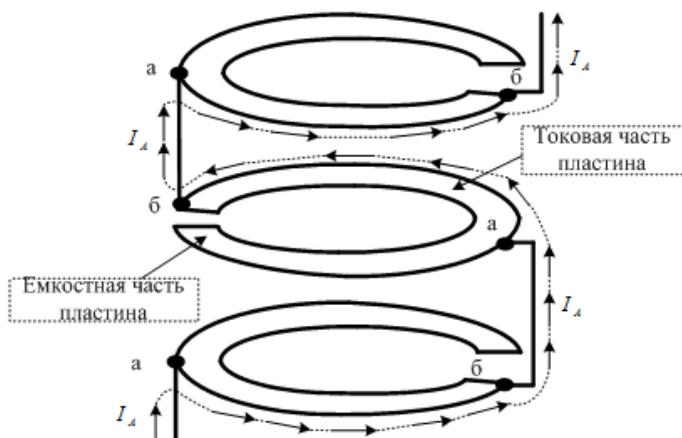


Рис. 3. Электрическая модель питания пластин, образующих антенный модуль

Поступая на нижнюю пластину (рис. 3), ток I_A через переключку достигает контактной клеммы «а», далее протекает по пластине до ее середины, к клемме «б». Затем от клеммы «б» нижней пластины ток через соединительную переключку протекает к клемме «а» второй пластины. Протекая до средней части второй пластины, ток достигает клеммы «б» и через переключку протекает к клемме «а» третьей пластины, по которой достигает клеммы «б» и далее по следующей за клеммой «б» переключке к следующей пластине, не представленной на рисунке 3, и т.д. Таким образом, создается цепь протекания тока I_A , обеспечивающего излучение электромагнитного поля антенному модулю. Причем, если рассмотреть протекание тока I_A по всей длине разрезной пластины, то есть включить весь виток пластины, а не половину пластины, как это показано на рисунке 3, такая цепь полного витка для протекания тока приведет к возрастанию индуктивности модуля, при этом емкость останется неизменной. Следовательно, не будет возможности достигнуть постоянства волнового погонного сопротивления W_{Π} , которое определяется как отношение погонного индуктивного сопротивления ωL_{Π} модуля к емкостному погонному сопротивлению ωC_{Π} :

$$W = \sqrt{\omega L_{\Pi} / \omega C_{\Pi}} = \sqrt{L_{\Pi} / C_{\Pi}}.$$



Поэтому в антенном модуле необходимо существование токовой и емкостной частей пластины (рис. 3). При такой схеме прохождения тока, когда I_A в модуле протекает только по токовой части или по половине вдоль каждой пластины, неизбежно возникают электродинамические проблемы, которые снижают коэффициент бегущей волны тока (КБВ).

Как следует из рисунка 3, каждая пластина разделена на части: токовую, от клеммы «а» до клеммы «б», по которой течет ток антенны I_A , и емкостную, в которой ток не течет. Емкостная часть необходима, как говорилось выше, для создания заданной постоянной погонной емкости излучающего модуля.

Однако в емкостной части пластины, не включенной в цепь тока антенны I_A , образуется изолированный на конце проводник, представляющий по длине половину части пластины между клеммами «а» и «в». Под действием потенциала, приложенного к клемме «а» между клеммами «а» и «в», возникают ток падающей волны $I_{пад}$ и ток отраженной волны $I_{отр}$. Возникающая отраженная волна тока $I_{отр}$ в емкостной части пластины накладывается на ток антенны в токовой части пластины, то есть в цепи тока I_A антенны, понижая коэффициент бегущей волны антенны. Поэтому недостатком прототипа является наличие несогласованных режимов, приводящих к образованию стоячих волн тока антенны, и, как следствие, снижение коэффициента бегущей волны тока.

Целью разработки является установление постоянства тока в антенне в режиме бегущей волны независимо от рабочей частоты, то есть повышение коэффициента бегущей волны тока антенного модуля.

Поставленная цель может быть достигнута устранением отраженной волны тока $I_{отр}$. Повышение КБВ обеспечит увеличение излученной мощности модуля при заданных равных условиях по подведенной к модулю мощности. Для повышения КБВ в антенном модуле следует повысить сопротивление цепи для тока $I_{пад}$ падающей волны с целью устранения этого тока и увеличения I_A тока антенны (рис. 4).

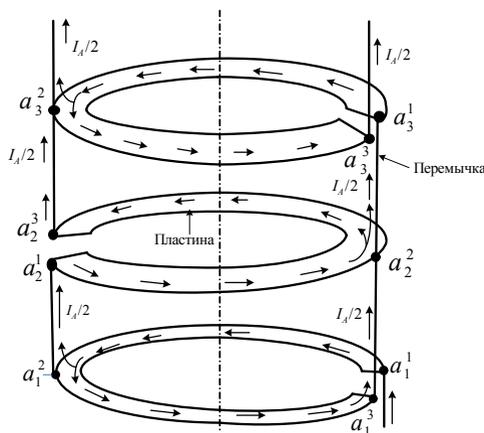


Рис. 4. Конструктивные особенности построения емкостной и токовой частей пластины модуля



На рисунке 4 представлена реализация использования тока падающей волны $I_{\text{пад}}$ для увеличения тока антенного модуля I_A . Рассмотрим принцип действия системы.

Пусть ток заданной частоты генератора 3 (рис. 1) через усилитель 6 и согласующее устройство 7 поступает на один из N антенных модулей 1_N . При этом через клемму «к» этот ток подается на первую пластину антенного модуля (рис. 2). Пусть на первую пластину одного из N антенного модуля 1_N (рис. 4) ток генератора 3 через усилитель 6 и согласующее устройство 7 (рис. 1, 2) поступает на клемму a_1^1 , то есть на первую клемму первой пластины. Этот ток протекает по первой токовой пластине от клеммы a_1^1 ко второй клемме a_1^2 первой пластины модуля. Далее ток разветвляется на две параллельные равные цепи с током $I_A / 2$ в каждой цепи, и токи этих цепей, протекая по одинаковой длине пластин и перемычек, складываются в фазе, подходя к второй клемме a_2^2 второй пластины. Первая из параллельных цепей протекания тока $I_A / 2$ образуется посредством перемычки, включенной между второй клеммой a_1^2 первой пластины и первой клеммой a_1^1 второй пластины и продолжением цепи по токовой части второй пластины до второй клеммы a_2^2 второй пластины. Вторая из параллельных цепей протекания тока $I_A / 2$ образуется цепью от клеммы a_1^2 первой пластины по емкостной части первой пластины до третьей клеммы a_1^3 первой пластины и продолжением цепи по перемычке, включенной между третьей клеммой a_1^3 первой пластины и второй клеммой a_2^2 второй пластины. Аналогичный результат в виде параллельной цепи образуется при совместном использовании второй и третьей пластин.

Далее от второй клеммы a_2^2 второй пластины ток антенного модуля протекает по двум цепям, в которых протекает одинаковый ток, равный $I_A / 2$.

Первая из параллельных цепей протекания тока $I_A / 2$ образуется цепью через перемычку, включенную между второй клеммой a_2^2 второй пластины и первой клеммой a_1^3 третьей пластины и продолжением цепи по токовой части третьей пластины до второй клеммы a_2^3 третьей пластины. Вторая из параллельных цепей протекания тока $I_A / 2$ образуется цепью от второй клеммы a_2^2 второй пластины по емкостной части второй пластины до третьей клеммы a_2^3 второй пластины и продолжением цепи по перемычке, включенной между третьей клеммой a_2^3 второй пластины и второй клеммой a_2^3 третьей пластины. Далее подобное в виде параллельной цепи образуется при совместном использовании последующих из N пластин модуля.

Показанная особенность протекания тока в виде $I_A / 2$ в разрезных пластинах позволила разработать антенный модуль корабельной передающей антенной системы, устраняющий недостатки прототипа. Антенный модуль представлен на рисунке 5, где один из N выходов согла-

сующего устройства 7 через коаксиальный кабель 8 центральной жилой соединен с первой клеммой a_1^1 первой разрезной металлической пластины, изолированной от корпуса корабля 2 изолятором 10 и от второй пластины П2, при этом экранная оболочка коаксиального кабеля 8 соединена с корпусом корабля 2. Ток генератора I_A от входной первой клеммы a_1^1 первой пластины П1 протекает по токовой части пластины ко второй клемме a_2^1 первой пластины и далее от второй клеммы a_2^1 первой пластины по параллельным цепям до клеммы a_2^1 второй пластины П2. При этом первая цепь для тока $I_A / 2$ образована перемычкой между клеммами a_1^1 и a_2^1 и далее через первую клемму a_2^1 второй пластины П2 через токовую часть второй пластины П2 до ее второй клеммы a_2^2 , а вторая цепь для тока $I_A / 2$ образована емкостной частью первой пластины П1 от второй клеммы a_2^1 первой пластины до ее третьей клеммы a_3^1 и далее через перемычку между клеммами a_3^1 и a_2^2 . Далее через вторую клемму a_2^2 второй пластины П2 ток протекает по параллельным цепям до второй клеммы a_3^2 третьей пластины П3. При этом первая цепь для тока $I_A / 2$ образована через перемычку между второй клеммой a_2^2 второй пластины и первой клеммой a_3^1 третьей пластины и далее через токовую часть третьей пластины П3 между клеммами a_3^1 и a_3^2 , а вторая цепь для тока $I_A / 2$ образована от второй клеммы a_2^2 второй пластины к ее третьей клемме a_3^2 через емкостную часть второй пластины П2 и через перемычку между клеммами a_3^2 и a_3^1 .

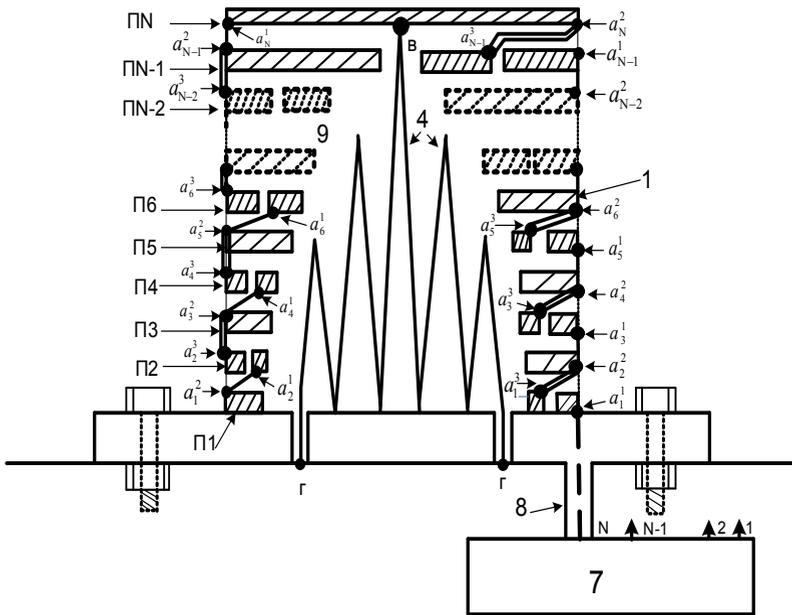


Рис. 5. Антенный модуль судовой передающей антенной системы



От второй клеммы a_3^2 третьей пластины ПЗ ток протекает по параллельным цепям ко второй клемме a_4^2 четвертой пластины П4. При этом первая цепь для тока $I_A / 2$ образована через перемычку между второй клеммой a_3^2 третьей пластины ПЗ и первой клеммой a_4^1 четвертой пластины П4 и далее через токовую часть четвертой пластины П4 между клеммами a_4^1 и a_4^2 , а вторая цепь для тока $I_A / 2$ образована от второй клеммы a_3^2 третьей пластины ПЗ к ее третьей клемме a_3^3 через емкостную часть третьей пластины ПЗ и далее через перемычку между клеммами a_3^3 и a_4^2 .

Далее от второй клеммы a_4^2 четвертой пластины П4 ток протекает по параллельным цепям ко второй клемме a_5^2 пятой пластины П5. При этом первая цепь для тока $I_A / 2$ образована через перемычку между второй клеммой a_4^2 четвертой пластины П4 и первой клеммой a_5^1 пятой пластины и далее через токовую часть пятой пластины П5 между ее первой клеммой a_5^1 и второй клеммой a_5^2 , а вторая цепь для тока $I_A / 2$ образована от второй клеммы a_4^2 четвертой пластины П4 до ее третьей клеммы a_4^3 через емкостную часть четвертой пластины П4 и через перемычку между третьей клеммой a_4^3 четвертой пластины и второй клеммой a_5^2 пятой пластины.

Таким образом, в антенном модуле образуются параллельные цепи, равные по длине и расположению в системе из N параллельно расположенных пластин. В цепях протекают синфазные токи, исключаящие возникновение отраженной волны. Как следствие, повышается коэффициент бегущей волны.

Для верхних пластин от ПН-2 через ПН-1 и ПН в антенном модуле образованы параллельные цепи протекания тока, которые также исключают возникновение отраженной волны на основании наличия следующих симметричных цепей.

От второй клеммы a_{N-2}^2 N-2 пластины ПН-2 ток протекает по параллельным цепям до второй клеммы a_{N-1}^2 N-1 пластины ПН-1. При этом первая цепь для тока $I_A / 2$ образована через перемычку между второй клеммой a_{N-2}^2 N-2 пластины ПН-2 и первой клеммой a_{N-1}^1 N-1 пластины ПН-1 и далее через токовую часть N-1 пластины ПН-1 между первой клеммой a_{N-1}^1 N-1 пластины ПН-1 и ее второй клеммой a_{N-1}^2 , а вторая цепь для тока $I_A / 2$ образована от второй клеммы a_{N-2}^2 N-2 пластины ПН-2 до ее третьей клеммы a_{N-2}^3 через емкостную часть N-2 пластины ПН-2 и далее через перемычку между третьей клеммой a_{N-2}^3 N-2 пластины ПН-2 и второй клеммой a_{N-1}^2 N-1 пластины ПН-1. Далее от первой клеммы a_{N-1}^1 N-1 пластины ПН-1 ток протекает по параллельным цепям до клеммы «В» N пластины ПН. При этом первая цепь для тока $I_A / 2$ образована через токовую часть N-1 пластины ПН-1 между первой клеммой a_{N-1}^1 N-1 пластины ПН-1 и ее второй клеммой a_{N-1}^2 и далее



через перемычку между второй клеммой a_{N-1}^2 N-1 пластины ПН-1 и первой клеммой a_N^1 N пластины ПН, а также проводимостью сплошной N пластиной ПН, выполненной в виде диска между клеммами a_N^1 и «В». Вторая цепь для тока $I_A / 2$ образована от второй клеммы a_{N-1}^2 N-1 пластины ПН-1 до ее третьей клеммы a_{N-1}^3 через емкостную часть N-1 пластины ПН-1 и через перемычку между третьей клеммой a_{N-1}^3 N-1 пластины ПН-1 и второй клеммой a_N^2 N пластины ПН и через N пластину до клеммы «В».

Клемма «В» соединена с корпусом судна через экспоненциальную нагрузку 4, размещенную в магнитоэлектрической среде 9 с параметрами $\epsilon = 10$ и $\mu = 10$.

Показанная особенность протекания тока I_A в разрезных пластинах позволила разработать антенный модуль судовой передающей антенной системы, устраняющий недостатки прототипа.

Таким образом, согласованный режим работы плоских разрезных пластин, из которых состоит каждый из N антенных модулей, обеспечен. Образованы параллельные и равные цепи для протекания тока модуля, устраняющие отраженную волну, в чем и заключается преимущество предложенной модели по сравнению с разработанным ранее прототипом [5].

Список литературы

1. Вершков М. В., Миротворский О. Б. Судовые антенны. Л., 1990.
2. Виниченко А. И. Теория тракта распространения радиоволн линий радиосвязи. Л., 1984.
3. Гончаренко И. В. Антенны КВ и УКВ. Часть II. Основы и практика. М., 2005.
4. Пониматкин В. Е., Шпилевой А. А., Кужелев А. А., Типикин А. А. Антенный модуль коротковолнового диапазона // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Физико-математические и технические науки. 2015. Вып. 4. С. 74–81.
5. Пат. на полезную модель 176449 Рос. Федерация №2017125585; заявл. 17.07.2017.

Об авторах

Виктор Ефимович Пониматкин – канд. техн. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: VПonimatkin@kantiana.ru

Александр Александрович Кужелев – канд. техн. наук, преп., Калининградский филиал Военного учебно-научного центра Военно-морского флота «Военно-морская академия», Россия.

E-mail: alkuzh007@yandex.ru

Андрей Алексеевич Шпилевой – канд. физ.-мат. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: AShpilevoi@kantiana.ru



Татьяна Александровна Карпинская – доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: TKarpinskaya@kantiana.ru

The authors

Dr Viktor E. Ponimatkin, Associate Professor, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Dr Aleksandr A. Kuzelev, Lecturer, Kaliningrad Branch of Military Educational and Scientific Centre «Naval Academy», Russia.

E-mail: alkuzh007@yandex.ru

Dr Andrey A. Shpilevoy, Associate Professor, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: AShpilevoi@kantiana.ru

Tatyana A. Karpinskaya, Associate Professor, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: TKarpinskaya@kantiana.ru