

**В. И. Бурмистров, В. Е. Пониматкин, Т. А. Карпинская
В. А. Гоглев, А. С. Кузьмичев**

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПЕРЕДАЮЩИХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ

50

Требования, предъявляемые к антенным системам средних и длинных волн, предполагают дальнейшее улучшение их электродинамических и конструктивных свойств, что связано прежде всего со спецификой использования данного диапазона для обеспечения связи с подвижными объектами, в том числе с надводными морскими судами, радиовещания, передачи сигналов специального назначения и других целей. При этом значительное внимание уделяется конструкциям передающих антенн, возможности снижения их габаритов, уменьшения взаимного влияния в условиях сложной электромагнитной обстановки, повышения надежности радиосвязи. Вопросам развития данного направления с точки зрения радиотехники посвящена статья.

The requirements for medium-and long-wave antenna systems imply further improvement of their electrodynamic and structural properties, which is primarily related to the specifics of using this range to provide communication with mobile objects, including surface ships, radio broadcasting, transmit special-purpose signals and other purposes. At the same time, considerable attention is paid to the structures of transmitting antennas, the possibility of reducing their size, reducing mutual influence in a complex electromagnetic environment, and improving the reliability of radio communications. The presented work is devoted to the development of this direction from the point of view of radio engineering.

Ключевые слова: рамочная антенна, поляризация излучения, ферритовый магнитопровод, электрический вектор, магнитная проницаемость, излучаемая мощность.

Keywords: loop antenna, polarization of radiation, ferrite magnetic circuit, electric vector, magnetic permeability, radiated power.

Радиоволны с частотами 3 кГц – 3 МГц (диапазон сверхдлинных (СДВ), длинных (ДВ) и средних (СВ) волн), распространяющиеся в пределах волновода «Земля – ионосфера», характеризуются преимущественно вертикальной поляризацией ввиду их взаимодействия с земной поверхностью, что в значительной степени определяет конструктивные параметры передающих антенных систем, которые в данном случае строятся на основе Г-, Т-образных излучателей [1; 2]. Используются также зонтичные конструкции [2]. Необходимость эксплуатации излучающих систем в условиях, близких к режиму собственной длины волны ($\ell = \lambda / 4$) [2; 3], который рассчитан на обеспечение максимальной мощности излучения, приводит к тому, что антенны диапазонов СДВ – СВ являются протяженными и громоздкими.



В целях уменьшения геометрических размеров излучающих систем возможна замена типовых конструкций более компактными рамочными антеннами [4], обладающими аналогичными электромагнитными свойствами. Ключевым условием при этом является обеспечение необходимого уровня мощности, достаточного для возбуждения волновода «Земля – ионосфера». Одной из задач, которую требуется решить для достижения поставленной цели, является повышение относительно низкого сопротивления излучения рамочной антенны.

Для этого рассмотрим схему формирования вертикальной составляющей вектора напряженности электрического поля \vec{E}_B и горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля \vec{H}_Γ (рис. 1, а) в пространстве, обеспечивающих возбуждение сферического волновода «Земля – ионосфера», а также вариант технической реализации указанного случая (рис. 1, б). В магнитопроводе 1 наводится магнитный поток $\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}_\Gamma$, возбуждаемый переменным током I_\sim в витках проводника «а–б», охватывающего магнитопровод. Электрический вектор \vec{E}_B в этом случае 1 возбуждается в пространстве вертикально.

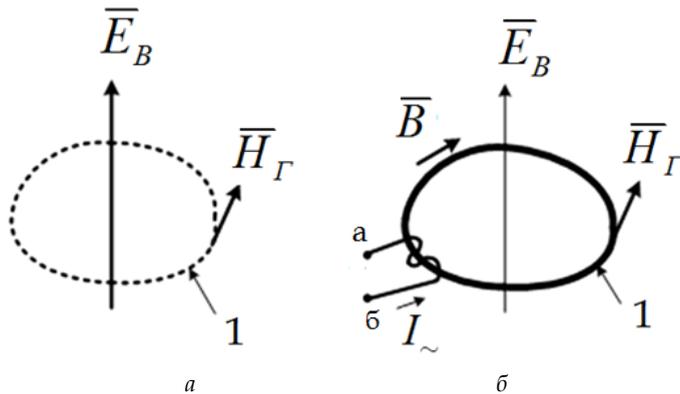


Рис. 1. Схема формирования составляющих напряженности электромагнитного поля рамочной антенной

Вариант, представленный на рисунке 1, может быть реализован следующим образом. Передающая антенная система, структурная схема которой изображена на рисунке 2, содержит 8 формирователей вертикальной составляющей электрического поля А; 1 – генератор СДВ, ДВ и СВ частот; 2 – модулятор; 3 – информационный блок. При этом выход генератора частот 1 соединен через первый вход модулятора 2 со входами 8 формирователей вертикальной составляющей электрического поля А; выход информационного блока 3 соединен со вторым входом модулятора 2; 8 формирователей вертикальной составляющей электрического поля А образуют синфазную систему излучателей и размещены в пределах радиуса с диаметром $d = 100$ м.

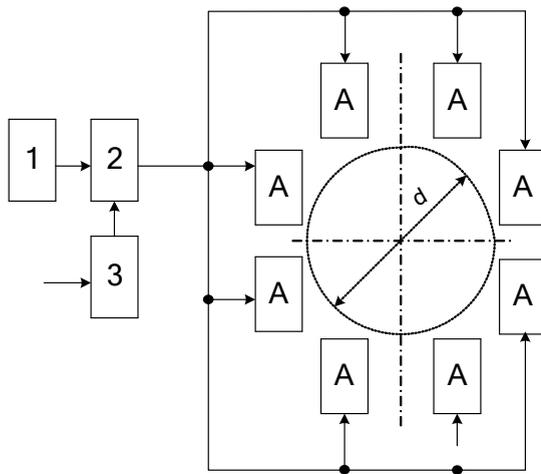


Рис. 2. Структурная схема передающей антенной системы

На рисунке 3 показана принципиальная схема передающей антенной системы указанных диапазонов, обеспечивающая формирование вертикальной составляющей электрического поля и содержащая в общем случае N магнитопроводов M с обмотками. Повышение излучаемой системой мощности достигается увеличением числа магнитопроводов.

На схеме рисунка 3 введены следующие обозначения: 1 – генератор СДВ, ДВ или СВ диапазонов; 2 – модулятор; 3 – информационный блок; 4 – усилитель мощности; Тр.1 – трансформатор с одной первичной обмоткой 1 и N идентичных вторичных обмоток (с первой вторичной обмотки 2.1 по N -обмотку 2. N); N магнитопроводов (с первого M_1 по N -магнитопровод M_N).

Выход генератора 1 соединен через первый вход модулятора 2 с входом усилителя мощности 4, выход информационного блока 3 соединен со вторым входом модулятора 2. Первый выход усилителя мощности 4 соединен с клеммой «а» первичной обмотки первого трансформатора Тр. 1, а второй выход усилителя мощности 4 соединен с клеммой «б» первичной обмотки первого трансформатора Тр. 1. Первая вторичная обмотка 2.1 первого трансформатора Тр. 1 клеммой «к» соединена с клеммой «в» обмотки возбуждения магнитного потока \bar{B} в первом магнитопроводе M_1 , а клемма «с» первой вторичной обмотки 2.1 первого трансформатора Тр. 1 соединена с клеммой «д» обмотки возбуждения магнитного потока \bar{B} в первом магнитопроводе M_1 .

Вторая вторичная обмотка 2.2 первого трансформатора Тр. 1 клеммой «к» соединена с клеммой «в» обмотки возбуждения магнитного потока \bar{B} во втором магнитопроводе M_2 , а клемма «с» второй вторичной обмотки 2.2 первого трансформатора Тр. 1 соединена с клеммой «д» обмотки возбуждения магнитного потока \bar{B} в первом магнитопроводе M_2 и т. д.

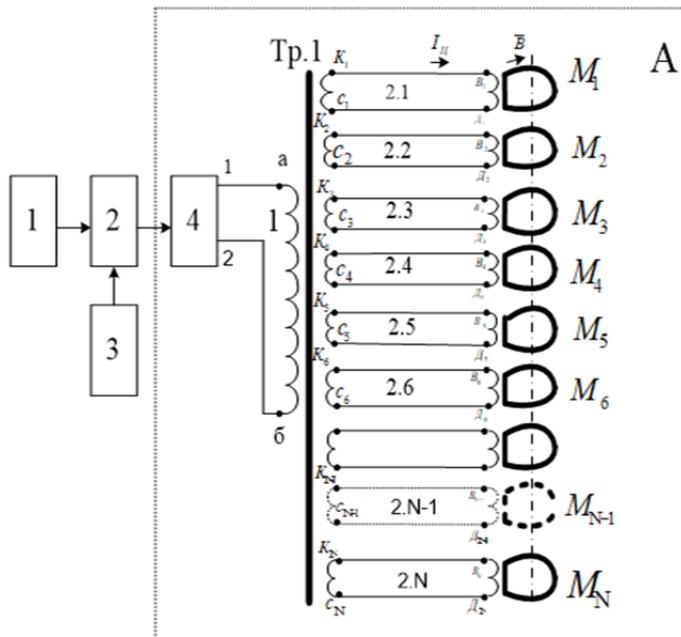


Рис. 3. Принципиальная схема передающей антенной системы с формирователем сигналов

На рисунке 4 схематично представлена конструкция одной из катушек, смонтированной на ферритовом магнитопроводе (любом — от первого M_1 до N -магнитопровода M_N), который содержит 3 ферритовых кольца. Кольца ориентированы параллельно поверхности земли.

Первое ферритовое кольцо имеет диаметр $d_{i1}=3$ м, сечение $d_{01}=0,2$ м и магнитную проницаемость $\mu = 2000$ мкГн. Второе ферритовое кольцо — диаметр $d_{i1}=2,5$ м, сечение $d_{02}=0,2$ м и магнитную проницаемость $\mu = 1000$ мкГн. Третье ферритовое кольцо — диаметр $d_{i1}=2$ м, сечение $d_{03}=0,2$ м и магнитную проницаемость $\mu = 400$ мкГн. Вк. 1, Вк. 2 и Вк. 3 — двухконтактные выключатели; $L_{сдв}$, $L_{дв}$ и $L_{св}$ — индуктивности возбуждения магнитного потока $\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$ [5] в 3 ферритовых кольцах. При этом каждый магнитопровод из M_N входной клеммой «Д_N» соединен параллельно с клеммой «л» первого двухконтактного выключателя Вк. 1, с клеммой «ж» второго двухконтактного выключателя Вк. 2 и с клеммой «г» третьего двухконтактного выключателя Вк. 3. Входной клеммой «В_N» соединен параллельно с клеммой «ц» первого выключателя Вк. 1, с клеммой «э» второго выключателя Вк. 2 и с клеммой «ч» третьего выключателя Вк. 3.

Клемма «я» первого двухконтактного выключателя Вк. 1 соединена через индуктивность $L_{сдв}$ с клеммой «р» первого двухконтактного выключателя Вк. 1. Клемма «з» второго двухконтактного выключателя Вк. 2 соединена через индуктивность $L_{св}$ с клеммой «т» второго двух-



контактного выключателя Вк. 2. Клемма «н» третьего двухконтактного выключателя Вк. 3 соединена через индуктивность L_{CB} с клеммой «е» третьего двухконтактного выключателя Вк. 3.

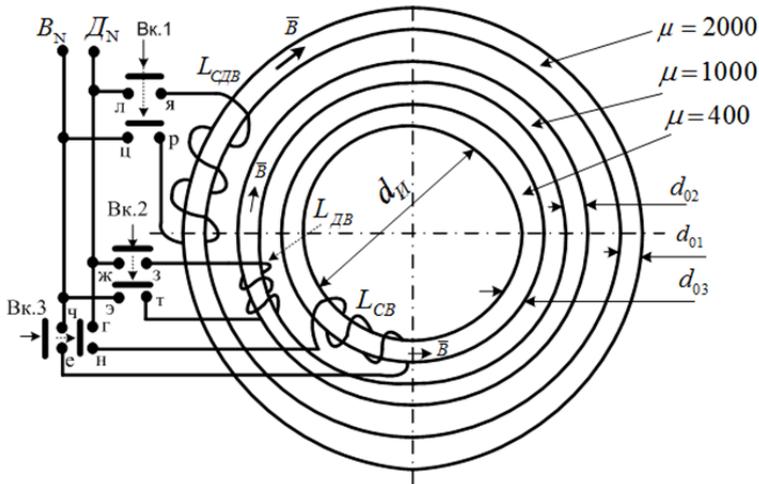


Рис. 4. Конструкция катушки излучателя с магнитопроводом

На рисунке 5 схематически представлено в сечении одно из ферритовых колец в любом из N магнитопроводов M_N , содержащее ферритовое кольцо радиусом d_H и сечением d_0 , катушку возбуждения с длиной намотки ℓ_K на ферритовом сердечнике диаметром d_K . При этом утолщение части ферритового кольца осуществлено непосредственно под длиной намотки катушки исходя из отношения длины катушки ℓ_K к ее диаметру d_K , определяемого на основании эмпирического неравенства

$$0,25 < \ell_K / d_K < 1,3.$$

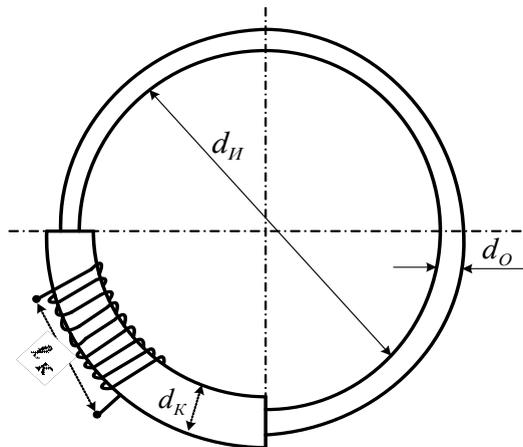


Рис. 5. Конструкция одной из катушек на кольце магнитопровода



Параметры кольца можно определить из результатов экспериментально полученных измерений, приведенных на рисунке 6 в виде зависимости действующей магнитной проницаемости μ_d сердечника от отношения его длины ℓ_k к диаметру d_k .

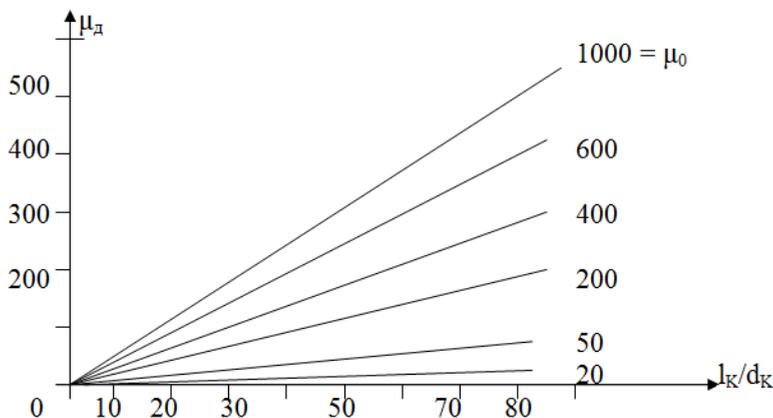


Рис. 6. Графики экспериментальных зависимостей для определения оптимальных размеров магнитопровода излучателя

Таким образом, в статье рассмотрены электродинамические вопросы возбуждения вертикально поляризованного электрического вектора поля в сферическом волноводе «Земля — ионосфера». Показаны возможные пути решения за счет использования вертикальных излучателей, обладающих высокими массогабаритными характеристиками. Предложена методика построения альтернативных конструкций в виде магниторамочных антенн, обеспечивающих эффективную передачу сигналов в диапазонах сверхдлинных, длинных и средних волн.

Список литературы

1. Муравьев А. В. Справочник по расчету проволочных антенн. Л., 1992.
2. Блюх П. В., Николаенко А. П., Филиппов Ю. Ф. Глобальные электромагнитные резонансы в полости земля-ионосфера. Киев, 1977.
3. Вершков М. В., Миротворский О. Б. Судовые антенны. Л., 1990.
4. Гончаренко И. В. Антенны КВ и УКВ. Часть II. Основы и практика. М., 2005.
5. Виниченко А. И. Теория тракта распространения радиоволн линий радиосвязи. Л., 1984.

Об авторах

Валерий Иванович Бурмистров — ст. преп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: VBurmistrov@kantiana.ru

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

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru



Татьяна Александровна Карпинская — ст. преп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: TKarpinskaya@kantiana.ru

Владислав Алексеевич Гоглев — студ., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Александр Сергеевич Кузьмичев — студ., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

The authors

Valery I. Byrmistrov, Assistant Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: VByrmistrov@kantiana.ru

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

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Tatyana A. Karpinskaya, Assistant Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: TKarpinskaya@kantiana.ru

Vladislav A. Goglev, Undergraduate Student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Aleksandr S. Kyzmichev, Undergraduate Student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru