



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2010122883/07, 07.06.2010**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.06.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **07.06.2010**

(45) Опубликовано: **10.09.2011** Бюл. № 25

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **EP 2048738 A1, 15.04.2009. SU 1569925 A1, 07.06.1990. RU 95115831 A, 27.09.1997. RU 2121200 C1, 27.09.1997. RU 2231873 C1, 27.06.2004. DD 240803 A, 12.11.1986. US 2824306 A, 18.02.1958. US 4101899 A, 18.07.1978. US 3932872 A, 13.01.1976. EP 1679727 A1, 12.07.2006.**

Адрес для переписки:

**109456, Москва, Рязанский пр-кт, 75, корп.4,
1-я башня, 7 этаж, ООО "ИНТЕЛИС-
Правовая поддержка", пат. пов. М.Н.
Протасенко, рег.№ 1136**

(72) Автор(ы):

Ляско Арий Борисович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

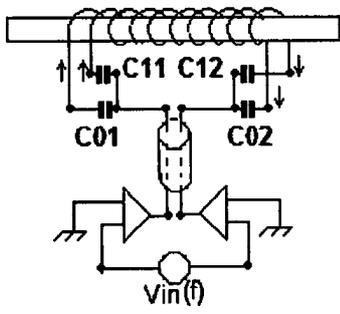
Ляско Арий Борисович (RU)

(54) ПЕРЕДАЮЩИЕ ЛИНЕЙНЫЕ МАГНИТНЫЕ АНТЕННЫ (ЛМА)

(57) Реферат:

Изобретение относится к области радиотехники, в частности к передающей антенне, излучающей электромагнитные волны для диапазона частот ниже 60000 герц. Техническим результатом является обеспечение высокой радиационной эффективности, расширение полосы пропускания, возможности использования в системах передачи цифровой информации, снижение технических и финансовых затрат. Указанный технический результат достигается тем, что передающая линейная магнитная антенна содержит ферромагнитный магнитопровод, состоящий из множества ферритовых чашечек Р-типа, или РМ-типа, каждая из которых имеет внутреннее отверстие для образования сквозного центрального осевого канала, внутри которого расположен кабель постоянного тока,

диэлектрический каркас, охватывающий внешнюю поверхность магнитопровода и поверх которого размещена обмотка «внешнего соленоида с однослойной спиральной обмоткой, представляющей собой плоский К-жильный кабель, в котором жилы уложены параллельно, при этом каждая жила размещена в изоляционной оболочке и выполнена с возможностью образования отдельного последовательного резонансного контура. При использовании в магнитопроводе ферритовых чашечек РМ-типа внутри каждой из них располагается однослойная «внутренняя» обмотка, комбинированное соединение которых образует «внутренний» соленоид, образующий с добавлением конденсатора последовательный резонансный «внутренний» соленоид антенный контур. 8 з.п. ф-лы, 17 ил., 4 табл.



Фиг. 1

RU 2 4 2 8 7 4 C 1

RU 2 4 2 8 7 4 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2010122883/07, 07.06.2010**

(24) Effective date for property rights:
07.06.2010

Priority:

(22) Date of filing: **07.06.2010**

(45) Date of publication: **10.09.2011 Bull. 25**

Mail address:

109456, Moskva, Rjazanskij pr-kt, 75, korp.4, 1-ja bashnja, 7 ehtazh, OOO "INTELIS-Pravovaja podderzhka", pat. pov. M.N. Protasenko, reg.№ 1136

(72) Inventor(s):

Ljasko Arij Borisovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Ljasko Arij Borisovich (RU)

(54) **TRANSMITTING LINEAR MAGNETIC ANTENNAE (LMA)**

(57) Abstract:

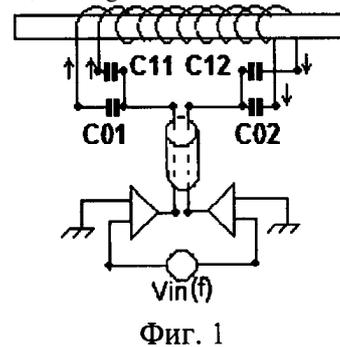
FIELD: radio engineering.

SUBSTANCE: transmitting linear magnetic antenna contains ferromagnetic magnetic conductor consisting of many ferrite P-type or PM-type bowls, each of which has inner hole for formation of through central axial channel inside which DC cable is located, dielectric framework enveloping outer surface of magnetic conductor and above which there arranged is winding of external solenoid with single-layer spiral winding representing flat K-core cable in which cores are laid in parallel; at that, each core is arranged in insulating cover and has the possibility of formation of separate series resonance circuit. When PM-type ferrite bowls are used in magnetic conductor, inside each of them there located is single-layered "internal" winding, the combined connection of which forms "internal" solenoid forming

series resonance antenna circuit of "internal" solenoid with addition of capacitor.

EFFECT: providing high radiation efficiency, enlarging pass band, possibility of application in digital information transfer systems, and reducing technical and financial costs.

9 cl, 4 tbl, 17 dwg



RU 2 4 2 8 7 7 4 C 1

RU 2 4 2 8 7 7 4 C 1

Изобретение относится к области радиотехники, в частности к передающей линейной магнитной антенне. Она может быть применена при использовании дискретной фазовой манипуляции (PSK - Phase Sift Key) в Передающих Системах Подвижных Объектов (ПСПО), излучающих электромагнитные волны в диапазоне (ELF, VF, VLF, LF) частот от 300 герц (длина волны $\lambda=1000$ км) до 60000 герц (длина волны $\lambda=5$ км), расположенных в глубине моря, подо льдом или в земле, в воздушном пространстве над водной, ледовой или земной поверхностью в пределах так называемой «ближней зоны» (в пределах дистанций $D \leq \lambda/2\pi$).

Из уровня техники известны антенны, состоящие из внешней обмотки вокруг ферритового стержня в один слой (EP 2048738, 15.04.2009; JP 7303006, 14.11.1995; JP 59006602, 13.01.1984; US 7034767, 25.04.2006; RU 2145137, 27.01.2000; RU 2160947, 20.12.2000).

В Европейской заявке №2048738 раскрыто, что ферритовый стержень приемной антенны выполнен полым, при этом ферритовый стержень может состоять из плотно соединенных ферритовых кольцевых частей и внутри него расположены радиодетали.

Известна коммуникационная система, предназначенная для использования в нижней части диапазона радиочастот параметрической магнитной дипольной антенны. Эта антенна включает удлиненный магнитопровод, преимущественно сформированный из плотной шестиугольной связки ферритовых стержней, каждый из которых набирается встык из имеющих продольное отверстие ферритовых чашечек, образуя простирающийся по всей длине соответствующего ферритового стержня центрально-осевой канал. Обмотка соленоида, плотно примыкающая к внешней поверхности магнитопровода, расположена в центральной части антенны, а переменный управляющий ток «накачки», протекаемый по обмотке, простирающийся по продольно-осевому каналу стержня магнитопровода, создает циркулирующий переменный магнитный поток «накачки» в каждом стержне, ортогональный магнитному потоку, созданному в нем внешним соленоидом антенны. Этот переменный управляющий ток «накачки» когерентен по фазе току, протекаемому по обмотке соленоида антенны (US 4458248, 03.07.1984).

Недостатками данного устройства являются требование использования усилителей мощности на частоте несущей с высоковольтным (достигающим сотен киловольт) выходным напряжением при амплитуде тока, достигающей десятков и сотен ампер, недостаточно высокая радиационная эффективность и недостаточно широкая полоса пропускания для возможности использования в системах передачи цифровой информации с подвижного объекта или подвижному объекту в средах, указанных выше.

Технический результат, достигаемый при реализации данного изобретения, заключается:

- в использовании низковольтных усилителей мощности,
- в обеспечении высокой радиационной эффективности (не менее 25%),
- в расширении полосы пропускания и, соответственно,
- в возможности использования в системах передачи цифровой информации.
- в снижении технических и финансовых затрат на построение такой ЛМА или системы, из них, одновременно создавая такие же преимущества при построении «передатчика» с использованием промышленных низковольтных образцов Интегральных Операционных Усилителей Мощности (ИОУМ).

С целью возможности применения современных ИОУМ в качестве источников

тока, создающих магнитное поле в магнитопроводе тела ЛМА, используется лишь один цилиндрический составной ферритовый стержень, а однослойная обмотка внешнего цилиндрической формы соленоида выполнена плоским «многожильным» (n -медных в электрической изоляции «жил», $n=2, 3, 4, \dots$) кабелем.

5 С целью увеличения ширины полосы ВВ и уменьшения сопротивления «нагрузки» при работе на выбранной частоте f «несущей» каждая из n «жил» обмотки внешнего соленоида образует отдельный (последовательный) резонансный (колебательный) контур с использованием отдельного конденсатора или их набора, то есть
10 используется n -контурная антенная цепь, настраиваемая на резонансную частоту «несущей».

С целью увеличения мощности излучаемых электромагнитных волн используется в пространстве между боковой поверхностью магнитопровода и простирающейся
15 внутренней поверхностью каркаса внешнего соленоида эффект «искусственного синтеза» Вектора Умова-Пойнтинга («Искусственный синтез» (The crossed field antennas, SFA) Вектора Умова-Пойнтинга в передающей антенне типа Электрического диполя Герца, описан в US 5155495, 13.10.1992, и US 5495259, 27.02.1996, в последнем - для создания магнитного поля используются симметрично
20 расположенные по бокам два внешних соленоида со своими магнитопроводами, создающими магнитное поле внутри и над центральным внешним соленоидом, внутри которого находится контейнер, наполненный смесью «магнитного и электрически активного» вещества) при использовании ферритовых чашечек Р-типа. А при использовании чашечек РМ-типа в цилиндрическом ферритовом стержне
25 магнитопровода ЛМА для дополнительного «искусственного синтеза» Вектора Умова-Пойнтинга применяется внутренний соленоид, образованный из однослойных обмоток во внутренней полости РМ-типа ферритовых чашечек.

Для сведения на нет влияния нелинейных эффектов, возникающих в материале
30 магнитопровода ЛМА и с целью передачи цифровой информации при модуляции сигнала частоты f «несущей» используется дискретная манипуляция ее фазы из заранее заготовленного дискретного их набора, а именно QPSK или HPSK, где QPSK - четырехфазовая модуляция при фиксированном наборе четырех фаз с интервалом 95 градусов, а HPSK - шестнадцатифазовая модуляция из
35 фиксированного набора шестнадцати фаз с интервалом 22,5 градуса.

Данная передающая линейная магнитная антенна (ЛМА) для увеличения общей мощности радиации может служить элементом двухмерных или трехмерных
40 антенных систем с согласованном по фазе включением и при параллельности осей их магнитопровода с применением матричных образований из современных ИОУМ в качестве источников тока для такой антенной системы.

Указанный технический результат достигается в передающей линейной магнитной антенне, содержащей:

45 ферромагнитный магнитопровод, состоящий из множества ферритовых чашечек, каждая из которых имеет внутреннее отверстие для образования сквозного центрального осевого канала, внутри которого расположен кабель постоянного управляющего тока,

диэлектрическую оболочку (каркас), охватывающую внешнюю поверхность
50 магнитопровода и поверх которого размещен внешний соленоид с однослойной спиральной обмоткой, представляющей собой плоский, по меньшей мере, двухжильный (K -жильный кабель, где $K=2, 3, 4, \dots n$) кабель, в котором жилы уложены параллельно, при этом каждая жила размещена в изоляционной оболочке и

дает возможность образования при добавлении внешнего конденсатора или группы внешних конденсаторов отдельного последовательного резонансного контура с подсоединением последовательно одного или двух (при балансной схеме подключения) резонансных электрических конденсаторов.

5 При образовании магнитопровода ЛМА используются Р-типа или РМ-типа ферритовые чашечки, расположены впритык друг к другу. Внешний диаметр ферритовой чашечки определяет диаметр магнитопровода ЛМА, величина которого выбирается в зависимости от требуемой радиационной мощности ЛМА.

10 При формировании магнитопровода ЛМА из ферритовых чашечек РМ-типа внутри каждой размещается однослойная спиральная «внутренняя» обмотка. Комбинированное соединение «внутренних» обмоток ферритовых чашечек РМ-типа магнитопровода ЛМА образует «внутренний» соленоид ЛМА. Этот «внутренний» соленоид при наличии внешнего конденсатора или группы внешних конденсаторов

15 образует последовательный резонансный контур «внутреннего» соленоида ЛМА. Для повышения радиационной эффективности длина магнитопровода выбирается не менее чем в 20-30 раз больше диаметра внешнего соленоида ЛМА. Тогда как длина внешнего соленоида, расположенного симметрично в центральной части

20 ЛМА, должна составлять от трети до половины длины магнитопровода. ЛМА дополнительно содержит одновитковую петлю, выполненную из коаксиального кабеля для обратной связи «замкнутого контура автоматического регулирования собственной резонансной частоты» антенного контура. Эта одновитковая петля плотно обволакивает поверхность внешнего соленоида в его

25 центральной части, и индуцируемое в ней переменное напряжение пропорционально величине напряжения, возникающего на одном витке внешнего соленоида ЛМА. Для однозначности нахождения «рабочей точки» на кривой намагничивания магнитопровода ЛМА и для плавной подстройки эффективного значения

30 резонансной частоты антенного контура ЛМА используется постоянный управляющий ток I_0 , проходящий по управляющему кабелю, продетому через центрально осевой канал магнитопровода ЛМА.

Из источника <http://www.pacificsites.com/~broke/FA.shtml>: принята в США следующая классификация поддиапазонов в нижней части электромагнитных волн:

35 а) ULF - это поддиапазон длин волн в свободном пространстве от 100000 км до 10000 км (от 3 герц до 30 герц соответственно) при этом указаны «официальные пользователи» приведенных ниже частот:

7 герц - «Schumann fundamental»;

40 13 герц - ((Schumann second harmonic»;

16 2/3 герц - ((Mains Power Grid».

б) ELF - это поддиапазон длин волн в свободном пространстве от 10000 км до 1000 км (от 30 герц до 300 герц соответственно) при этом указаны «официальные пользователи» приведенных ниже частот:

45 45 герц - «Sub coms»;

50 герц и 60 герц - «Main Power Grid»;

76 герц - ((SANGUINE - Project ELF».

в) VF - это поддиапазон длин волн в свободном пространстве от 1000 км до 100 км (от 300 герц до 3000 герц соответственно);

50 г) VLF - это поддиапазон длин волн в свободном пространстве от 100 км до 10 км (от 3000 герц до 30000 герц) при этом указаны «официальные пользователи» приведенных ниже частот:

от 10000 герц до 15000 герц - «Earth Whistlers»;
 от 11 900 герц до 21000 герц - «Coms SW RTTY»;
 11 904,7761 герц; 12 648,809 герц; 14 880,952 герц - «RSDN-20» - это глобальная
 морская навигационная система «Омега»;

21 400 герц - «NNS - another NNS page off the air»;
 от 14000 герц до 30000 герц - «Navy sub coms».

д) LF - это поддиапазон длин волн в свободном пространстве от 10 км до 1 км
 (от 30000 герц до 300000 герц соответственно) при этом указаны «официальные
 пользователи» приведенных ниже частот:

от 30000 герц до 60000 герц - «Navy sub coms»;
 60000 герц - «WWVB Time»....

Из вышеприведенного списка для ЛМА существует огромное поле применения.

С целью использования при проникновении радиации, созданной ЛМА на
 большую морскую глубину, или на большие дистанции в морской среде, при
 расположении ЛМА внутри ее, - предпочтительней использование частоты
 электромагнитной «несущей» f менее 13000 герц.

Сущность изобретения поясняется чертежами:

на фиг.1 и фиг.3 изображена эквивалентная схема балансного «мостового»
 подключения выходов пары ИОУМ при двухконтурной резонансной цепи антенного
 контура ЛМА, обмотка внешнего соленоида которой выполнена плоским
 двухжильным кабелем;

на фиг.2 и фиг.7 - схема двухконтурной резонансной антенной цепи внешнего
 соленоида ЛМА с бифазным возбуждением, обмотка внешнего соленоида которой
 выполнена плоским двухжильным кабелем;

на фиг.4 - график частотного спектра, излучаемого ЛМА в открытое
 пространство, регистрируемое с помощью Рамочной Антенны при фиксированном
 одном из m ($m=4$, или $m=16$) дискретных значениях фазы частоты f «несущей»;

фиг.5 - вид частотной характеристики (для определения полосы ВВ пропускания
 при резонансной частоте $f_0=46,76$ кГц) антенного контура ЛМА;

на фиг.6 - картина ориентации электрической (E_φ) и магнитных (H_ρ и H_θ)
 составляющих электромагнитного поля в открытом пространстве при
 представлении ЛМА в виде элементарного магнитного диполя Герца;

на фиг.8 - принципиальная схема балансного одноконтурного включения обмотки
 внешнего соленоида, выполненного плоским двухжильным кабелем;

на фиг.9-11 - общий вид ЛМА в разрезе при использовании ферритовых
 чашечек Р-типа и РМ-типа, когда, для простоты, обмотка внешнего соленоида
 выполнена плоским четырехжильным кабелем, содержащим два полных витка;

на фиг.12 - эквивалентная схема четырехконтурной антенной резонансной цепи
 обмотки внешнего соленоида ЛМА, выполненная в один слой плоским
 четырехжильным кабелем;

на фиг.13 - частичный разрез пары ферритовых чашечек РМ-типа фрагмента
 магнитопровода ЛМА, образованного из РМ-типа ферритовых чашечек;

на фиг.14 - схема подключения однослойной обмотки внешнего соленоида ЛМА,
 выполненного плоским K ($K=4$) жильным кабелем при подключении его K жил в
 виде последовательной одноконтурной ($k=1$) резонансной цепи к паре ИОУМ, при
 балансной (мостовой) схеме подсоединения их выходов;

фиг.15 - ЛМА при числе жил $K=4$ плоского кабеля обмотки внешнего соленоида
 ЛМА, образующей антенную резонансную цепь в виде двух ($k=2$) последовательных

резонансных контуров, при балансной схеме подсоединения каждого антенного контура к своей паре ИОУМ;

на фиг.16 - ЛМА при числе $K=4$ жил плоского кабеля обмотки внешнего соленоида, образующего антенную цепь в виде четырех ($k=4$) последовательных резонансных контуров, каждый из которых подсоединен по балансной схеме к своей паре ИОУМ;

фиг.17 - общая блок-схема передающего устройства, включая обобщенную схему подсоединения ЛМА к функциональным блокам, обеспечивающим нормальное оптимальное функционирование ЛМА.

В качестве иллюстрации описываются параметры одной из лабораторных моделей ЛМА (ЛМА#5). Модель ЛМА#5 имеет в ее центральной части однослойную обмотку внешнего соленоида, выполненную плоским двухжильным кабелем, при числе витков $N=126$. Эквивалентная упрощенная схема включения ее внешнего соленоида при образовании двухконтурной резонансной антенной цепи ЛМА изображена на фиг.1. Поэтому внешний соленоид ЛМА состоит из двух параллельно намотанных однослойных электрически изолированных спиральных обмоток с числом витков $N1=N2=126$. Концы каждой из этих двух параллельных обмоток сквозь пару постоянных конденсаторов $C01$ и $C02$ для одной из них и $C11$ и $C12$ для другой подключены «согласованно» и параллельно сквозь 20-метровый двухпроводный кабель к выходам пары Интегральных Операционных Усилителей Мощности (ИОУМ). На входы пары ИОУМ подается равный по амплитуде гармонический сигнал «несущей» частоты в противофазе. Из фиг.1 видно, что каждая из двух параллельных обмоток со своей парой симметрично по концам расположенных двух конденсаторов образуют свой последовательный резонансный контур антенной цепи, хотя они и соединены параллельно к паре ИОУМ, выходы которых соединены по «мостовой» схеме к антенной двухконтурной резонансной цепи. $C01=8,901$ нФ, $C02=8,839$ нФ, $C11=8,835$ нФ, $C12=8,841$ нФ. Величина электрической емкости упомянутых постоянных конденсаторов измерялась с помощью прецизионного цифрового измерителя типа Tensly 6401 Databridge на частоте 1 кГц.

Для модели ЛМА#5 конденсатор $C01$ и $C11$ расположены в левой герметичной пластмассовой прямоугольной коробке, а конденсаторы $C02$ и $C12$ - в правой. Каждый из этих конденсаторов образован набором соединенных параллельно и последовательно групп современных высоковольтных малогабаритных конденсаторов с тангенсом угла потерь порядка $3 \cdot 10^{-4}$ в диапазоне частот до 1000000 Гц при рабочем напряжении 900-1800 вольт с номиналом от 1,2 нФ до 470 нФ. Что позволило создание конденсаторов $C01$, $C02$, $C11$, $C12$, способных работать в частотном диапазоне не ниже 100000 герц, при тангенсе угла потерь не хуже $3 \cdot 10^{-4}$, при амплитуде переменного тока до 10 ампер и при амплитуде переменного напряжения до 3600 вольт.

Конденсаторы $C01$ и $C11$ образуют результирующую резонансную емкость $C1^*=4,42$ нФ для первого последовательного контура, а $C11$ и $C12$ образуют $C2^*=4,43$ нФ для второго последовательного контура антенной резонансной цепи внешнего соленоида ЛМА. Для правой и левой стороны концов обмотки внешнего соленоида дополнительно включены последовательно к каждой «жиле» двухпроводного кабеля конденсаторы $C03$, $C13$ в левой части и $C04$, $C14$ - в правой части. Это сделано для того, чтобы приблизить эффективное значение собственной резонансной частоты f_0 антенного контура к желаемому значению 51200 герц. В результате измеренное значение эквивалентной резонансной результирующей

емкости $C1=4,300$ нФ в первом последовательном резонансном контуре внешнего соленоида ЛМА, а во втором - $C2=4,413$ нФ.

В результате эквивалентная схема двухконтурной резонансной антенной цепи внешнего соленоида ЛМА с бифазным возбуждением может быть представлена так, как это показано на фиг.3, где $C1$ и $C2$ - эквивалентные емкости, а $r1$ и $r2$ - эквивалентные сопротивления потерь соответственно первого и второго резонансных контуров внешнего соленоида ЛМА. Естественно, обмотка образованная каждой жилой плоского двухпроводного кабеля внешнего соленоида ЛМА является эквивалентной индуктивностям L_{eff1} и L_{eff2} соответственно первого и второго резонансных контуров антенной цепи внешнего соленоида, питаемых в противофазе когерентными источниками гармонического сигнала частоты f «несущей». Соответственно правый ИОУМ представлен в виде кружочка на фиг.3 с размещенной внутри цифрой 0, а левый ИОУМ - кружочком с размещенной внутри цифрой 180. Это эквивалентная схема балансного «мостового» подключения выходов пары ИОУМ двухконтурной резонансной цепи внешнего соленоида антенного контура ЛМА. По каждому ИОУМ из пары протекает суммарный переменный ток с частотой «несущей» f с амплитудным значением I_m [А].

Этот суммарный ток и создает с помощью $N=126$ витков обмотки плоского двухжильного провода внешнего соленоида ЛМА в магнитопроводе и внутри на него надетой оболочки продольное переменное частоты f «несущей» магнитное поле с амплитудным значением H_m [А/м], являясь побудителем электромагнитной радиации в окружающее пространство ЛМА.

Из фиг.2 видно, что каждый смежный виток обмотки внешнего соленоида (то есть жилы кабеля) находится под напряжением, равным амплитудному значению напряжения, возникшему на отдельно взятой обмотке, что гарантирует равномерное распределение напряженности продольного магнитного поля в теле ЛМА и циркулирующего электрического поля вокруг тела ЛМА. Обычно такая схема использует не один ИОУМ в каждом контуре, а пару ИОУМ, выходы которых включены по балансной мостовой схеме.

По обеим ИОУМ протекает постоянный ток I_0 [Adc] при двухполярном питании пары ИОУМ от двух импульсных источников постоянного напряжения - E [Vdc]= $-24,1$ и $+E$ [Vdc]= $+24,1$.

Два упомянутых однотипных импульсных источников постоянного напряжения выполнены с изолированными от корпуса выходными клеммами, так что каждый из них может быть источником относительно клеммы заземления либо источником положительного или отрицательного постоянного напряжения. Это импульсные источники стабилизированного постоянного напряжения, каждый из которых может обеспечить уровень постоянного тока до $5,6$ Adc при установке выходного напряжения в пределах $23,8-24,8$ Vdc. На их вход может быть подано переменное напряжение $50-60$ герц в пределах эффективного значения напряжения 110 или 230 V(rms).

Два модуля ИОУМ выполнены на малошумящем ультралинейном Интегральном Операционном Усилителе Мощности фирмы National типа LF3886. Каждый из пары ИОУМ может выдать в «активную» нагрузку мощность не менее 68 ватт в диапазоне от 0 до 500000 герц при нелинейных искажениях гармонического сигнала не хуже 10^{-4} . Каждый модуль, использующий данный ИОУМ, обеспечивает работу в диапазоне частот ULF, ELF, VF, VLF от 10 герц до 100000 герц при рекордной линейности его амплитудной характеристике и рекордно малом уровне шумов,

включая и «фазовые». Разработана принципиальная схема такого модуля ИОУМ. Была разработана печатная плата, были изготовлены несколько печатных плат, на которых заявитель самостоятельно изготовил несколько таких пар ИОУМ, два из которых в двухканальном усилителе мощности РА#2, герметичный цельнолитой корпус которого выполнен из алюминиевого сплава, являющийся одновременно радиатором, отводящим тепло изнутри наружу. Другие два размещены, включая упомянутые два источника постоянного напряжения, в условно названном двухканальном бифазовом усилителе мощности РА#1.

Усилитель мощности РА#1 размещен с контрольно измерительной аппаратурой в помещении на расстоянии «по прямой» не менее 15 м от места установки ЛМА в другом помещении. Модель ЛМА#5, подключена к усилителю мощности РА#1 в соответствии с эквивалентной схемой фиг.1, двухжильным кабелем длиной 20 м.

Этот кабель аналогичен кабелю, используемому при изготовлении обмотки внешнего соленоида, но диаметр его медного провода жилы равен 1,3 мм.

Внутри цилиндрической диэлектрической оболочки (трубы), внешний диаметр которой $d_e=50$ мм, а внутренний диаметр $d_i=32$ мм, при длине 2 м, размещен ферритовый цилиндрический с центральным сквозным осевым отверстием (каналом) магнитопровод (стержень). Он выполнен в соответствии с технологией по патенту US 4458248.

Длина ферритового цилиндрического магнитопровода (стержня) $l_m[m]=1,92$. Его внешний диаметр $d_m[cm]=3$, внутренний диаметр - $d_{mi}[mm]=5$. Эффективное поперечное сечение магнитопровода (стержня) $F_m[кв. мм]=272$. Эффективный объем магнитопровода $V_m[куб. мм]=616421$. Он содержит 202 ферритовые чашечки типа «Р» марки А-30 М-30 при относительной величине начальной магнитной проницаемости их материала, равной 3200, и индукции насыщения 350 тТ (3500 гаусс). Длина обмотки внешнего соленоида $l_s[m]=1,1$. Диаметр одной жилы (по меди) $d_w[mm]=1,82$ в полиэтиленовой оболочке. Расстояние между центрами жил $[мм]=3,4$. Высота плоской обмотки (плоского двухжильного кабеля в изоляции) $[мм]=5$. Ширина (одного витка) плоского двухжильного кабеля обмотки внешнего соленоида $[мм]=8$.

Измеренная с помощью Tensly 6401 Databridge на частоте 1000 герц величина электрической емкости между двумя жилами обмотки внешнего соленоида ЛМА#5 равна 1489 нФ, величина эквивалентного параллельного сопротивления потерь $R=9,5$ МОм при ее добротности $Q=90$.

Измеренное значение с помощью Tensly 6401 Databridge на частоте 1000 герц электрической емкости между любой жилой плоского кабеля обмотки внешнего соленоида ЛМА#5 и проводом кабеля, продетого сквозь ее центральный осевой канал магнитопровода, равно 158 нФ, ее добротность равна 90, а эквивалентное параллельное сопротивление потерь равно 40 МОм.

Для обеих жил обмотки внешнего соленоида измерения с помощью Tensly 6401 Databridge на частоте 1000 герц дали следующие результаты:

- в присутствии магнитопровода индуктивность одной отдельно взятой (жилы) обмотки $L_1=1,149$ мГн, в отсутствие - $Lo_1=0,045$ мГн (то есть относительная магнитная проницаемость равна 25,5). Последовательное сопротивление потерь $ra_1=0,239$ Ом, а добротность $Q_1=28,69$.

В присутствии магнитопровода индуктивность второй (жилы) обмотки $L_2=1,149$ мГн, последовательное сопротивление потерь $ra_2=0,251$ Ом.

Индуктивность провода, продетого сквозь центральный осевой канал (обмотки

постоянного тока «управления»), $L_a \text{ rad}=0,764$ мГн, последовательное сопротивление потерь $r_a \text{ rad}=0,112$ Ом, а $Q_a \text{ rad}=37,1$.

Диаметр провода по меди $d_{\text{draw}}=4$ мм, продетый сквозь осевой канал магнитопровода, а его длина равна 2 м.

Измеренное значение индуктивности, образованной согласованным последовательным соединением обмоток внешнего соленоида $L_a=4,586$ мГн, последовательное сопротивление потерь $r_a=0,434$ Ом, а добротность $Q_a=59$. Вычисления дают значение коэффициента магнитной связи между двумя (жилами) обмотками внешнего соленоида $k_a=0,995$, а значение взаимоиндукции $M_{a12}=1,143$ мГн.

Вот почему в двухконтурной схеме включения эффективное значение индуктивности каждой (жилы) обмотки внешнего соленоида фактически в два раза выше, чем измеренное значение отдельно взятой ее индуктивности.

Если принять значение удельного сопротивления медного провода равным $0,0175$ Ом·кв.мм/м, то сопротивление постоянному току $r_{\text{wc}1}=r_{\text{wc}2}=0,146$ Ом отдельно взятой жилы обмотки внешнего соленоида длиной в 21,77 м при сечении по меди провода жилы 2,6 кв. мм. Это в два раза меньше измеренного значения на частоте 1000 герц. На частоте 1000 герц значение тангенса угла потерь для данного материала магнитопровода не превышает величины 0,002, и эквивалентное сопротивление потерь в материале магнитопровода не должно было бы превышать 0,029 Ом.

Рассчитанное значение сопротивления постоянному току жилы 20-метрового кабеля, подсоединяющего ЛМА к усилителю мощности РА#1, равно 0,527 Ом. Измеренное его значение на частоте 100 герц составило 0,576 Ом, а на частоте 1000 герц оно составило 0,577 Ом.

На частоте 25700 герц эквивалентное сопротивление потерь одной жилы в этом 20 м кабеле составило 0,6 Ом, а на частоте 51500 герц составило 1 Ом. Это объяснимо потерями, обусловленными «вихревыми токами», потерями в материале изоляции отдельно взятой жилы и в материале внешней оболочки этого 20-метрового плоского двух жильного кабеля.

В ферритом магнитопроводе тела ЛМА#5 при ее подключении к ИОУМ в соответствии с приведенной выше схемой фиг.1 по мере увеличения сигнала на входе ИОУМ должны проявляться нелинейные процессы, изменяющие магнитоэлектрические свойства ЛМА (ее индуктивность, взаимоиндуктивность, добротность, а следовательно, и собственную резонансную частоту).

Для изучения этого явления были проведены опыты, результаты которых будут приведены ниже.

$I_o[\text{A dc}]$ - постоянный ток, потребляемый парой ИОУМ от источников питания +Е и -Е.

$U_{\text{out}}[\text{V peak}]$ - амплитудное значение напряжения на выходе пары ИОУМ, измеренное двухканальным осциллографом «Oscilloscope 3502С».

$U_{\text{in}}[\text{mV rms}]$ - эффективное значение напряжения с выхода «Трэкин-генератора» анализатора электрических сигналов» Нр 3581А Wave Analyzer.

$U_{\text{mret}}[\text{V rms}]$ - эффективное значение напряжения «обратной связи», наведенное в маленькой одновитковой рамочке, которая размещена в центральной части внешнего соленоида ЛМА, выполненной из коаксиального 75 Ом кабеля RG-6. Общая длина этого кабеля в данном случае 20 м. Длина этого кабеля, образующего эту одновитковую экранированную петлю равна 0,2 м, а коэффициент «связи»

равен 0,91. Эффективная площадь этой «петли обратной связи» равна 0,00318 кв.м. На конце этого кабеля RG-6 имеется «пад» (аттенуатор) в 2.0 dB и терминал 75 Ом 2 ватта при подсоединении к входу Hp 3581A Wave Analyzer, с помощью которого измерялась величина «напряжения обратной связи» в V rms и в dBV.

Основные параметры измеряющих магнитную составляющую электромагнитной радиации от ЛМА приемных «Рамочных антенн» (Loop Antennas), условно названных LA#1, LA#2.

Они являются плоскими квадратными многовитковыми рамками, длина стороны которых равна 0,5 м. Обмотки уложены в пластмассовый каркас прямоугольного сечения: ширина равна 15 мм, а высота равна 10 мм. Обмотки произведены изолированным проводом диаметром (по меди) 0,315 мм. Число витков NLA#2 равно 25, а NLA#1 равно 100. Измеренные с помощью Tensly 6401 Databridge на частоте 1000 герц значения последовательной эквивалентной индуктивности и эквивалентного сопротивления для LA#1 соответственно равны 16,24 мГн и 44,2 Ом, а для LA#2 - 1,256 мГн и 11,2 Ом соответственно.

Возникшее на выходе LA#1 переменное напряжение ULA#1 подано на один из входов прецизионного спектрометрического 16 бит аналого-цифрового преобразователя Pico Technology Limited Virtual Instrument ADC-216, обладающего рекордно низким (-130 dBV) уровнем собственного шума и который соединен с USB - портом переносного персонального компьютера HP Compaq Presario 2500. По пику спектрограммы определялись частота и амплитудное значение зарегистрированного сигнала в dBV (как это показано на фиг.4).

Проводились измерения зарегистрированного сигнала LA#1 от LMA#5.

Измерялись с помощью прецизионного селективного вольтметра «анализатора электрических сигналов» HP 3581A Wave Analyzer при разрешающей способности BW=3 герц:

а) амплитуда сигнала U_{in} [mV] с его «Трэкин-генератора», поданного на вход усилителя мощности PA#1:

б) амплитудное значение сигнала с «петли обратной связи» модели LMA#5,

в) полоса пропускания BW антенной цепи LMA,

г) эффективная собственная резонансная частота f_0 антенной цепи LMA для различных значений выходного напряжения «Трэкин-генератора», поданного на вход PA#1.

Результаты измерения сведены в Таблицу 1.

| ТАБЛИЦА 1 | | | | | | | | | | |
|------------------|------------------|------------------|----------------|---------------|------------|--------|------------------|------------------|--------------|--------|
| U_{in} [mV] | U_{ret} [V] | U_{out} [V] | I_0 [Adc] | f_0 [Hz] | BW [Hz] | GULA#1 | λ [m] | H_{eff} [m] | ULA#1 [V] | E[V/m] |
| 10 | 0.48 | 0.1 | 0.2 | 50009 | 362 | -44.76 | 5998.9 | 0.026 | 0.006 | 0.22 |
| 10 | 0.46 | 0.5 | 0.2 | 50016 | 361 | -43.66 | 5998.1 | 0.026 | 0.007 | 0.25 |
| 52 | 1.55 | 2.4 | 0.5 | 49828 | 584 | -34.16 | 6020.7 | 0.026 | 0.020 | 0.75 |
| 100 | 2.35 | 4.7 | 0.7 | 49724 | 761 | -30.32 | 6033.3 | 0.026 | 0.030 | 1.17 |
| 200 | 3.55 | 9.3 | 1.0 | 49651 | 563 | -25.90 | 6042.2 | 0.026 | 0.051 | 1.95 |
| 315 | 4.60 | 14.5 | 1.4 | 49625 | 1173 | -24.34 | 6045.3 | 0.026 | 0.061 | 2.34 |
| 440 | 6.85 | 20.0 | 1.7 | 49756 | 1312 | -21.50 | 6029.4 | 0.026 | 0.084 | 3.23 |
| 500 | 6.30 | 22.5 | 1.8 | 49852 | 1314 | -21.14 | 6017.8 | 0.026 | 0.088 | 3.36 |
| 625 | 7.60 | 28.5 | 2.2 | 50156 | 1366 | -20.46 | 5981.3 | 0.026 | 0.095 | 3.61 |
| 700 | 8.30 | 32.0 | 2.4 | 50472 | 1369 | -19.62 | 5943.9 | 0.026 | 0.104 | 3.95 |
| 880 | 9.20 | 36.0 | 2.7 | 51023 | 1508 | -19.92 | 5879.7 | 0.027 | 0.101 | 3.78 |
| 880 | 9.20 | 36.0 | 2.7 | 51100 | 1508 | -19.62 | 5870.8 | 0.027 | 0.104 | 3.90 |
| 880 | 9.20 | 36.0 | 2.7 | 51200 | 1508 | -19.76 | 5859.4 | 0.027 | 0.103 | 3.83 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|------|-----|-------|------|--------|--------|-------|-------|------|
| 880 | 8.20 | 36.0 | 2.7 | 51300 | 1508 | -19.92 | 5848.0 | 0.027 | 0.101 | 3.76 |
| 880 | 8.20 | 36.0 | 2.5 | 51200 | 1508 | -20.42 | 5859.4 | 0.027 | 0.095 | 3.55 |

Где λ [м] - длина волны, а $H_{eff}[m]$ - действующая «высота» Рамочной

5 Антенны LA#1, $E[V/m]$ - значение напряженности «электрической составляющей» электромагнитного поля в точке регистрации LA#1, $H[A/m]$ - значение напряженности магнитного поля в центре Рамочной антенны LA#1.

$H[A/m]=E[V/m]/W_0$, где $W_0=377$ Ом.

10 Рассчитанные значения параметров LMA#5 в Таблице 2, 3, 4,

ТАБЛИЦА 2

| U_{in} [mV] | L1 [мГн] | L2 [мГн] | L_{eff} [мГн] | L_a [мГн] | p_1 [Ohm] | p_2 [Ohm] | p_{eff} [Ohm] | U_{La} [Vpeak] | Im_1 [A] | Im_2 [A] |
|------------------|-------------|-------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|---------------------|---------------|---------------|
| 10 | 2.355 | 2.295 | 1.162 | 4.649 | 740 | 721 | 365 | 94 | 0.13 | 0.13 |
| 52 | 2.373 | 2.312 | 1.171 | 4.684 | 743 | 724 | 367 | 90 | 0.12 | 0.12 |
| 100 | 2.383 | 2.322 | 1.176 | 4.704 | 744 | 725 | 367 | 304 | 0.41 | 0.42 |
| 200 | 2.390 | 2.328 | 1.179 | 4.718 | 745 | 726 | 368 | 460 | 0.62 | 0.63 |
| 315 | 2.392 | 2.331 | 1.181 | 4.723 | 746 | 727 | 368 | 695 | 0.93 | 0.96 |
| 440 | 2.379 | 2.319 | 1.174 | 4.698 | 744 | 725 | 367 | 901 | 1.21 | 1.24 |
| 500 | 2.370 | 2.310 | 1.170 | 4.680 | 742 | 723 | 366 | 1341 | 1.81 | 1.85 |
| 625 | 2.342 | 2.282 | 1.156 | 4.623 | 738 | 719 | 364 | 1234 | 1.67 | 1.72 |
| 700 | 2.312 | 2.253 | 1.141 | 4.566 | 733 | 715 | 362 | 1488 | 2.03 | 2.08 |
| 880 | 2.263 | 2.205 | 1.117 | 4.468 | 725 | 707 | 358 | 1625 | 2.24 | 2.30 |
| 880 | 2.256 | 2.198 | 1.113 | 4.454 | 724 | 706 | 357 | 1801 | 2.49 | 2.55 |
| 880 | 2.247 | 2.190 | 1.109 | 4.437 | 723 | 704 | 357 | 1801 | 2.49 | 2.56 |
| 880 | 2.238 | 2.181 | 1.105 | 4.419 | 721 | 703 | 356 | 1801 | 2.50 | 2.56 |
| 880 | 2.247 | 2.190 | 1.109 | 4.437 | 723 | 704 | 357 | 1606 | 2.22 | 2.28 |

30 где $p_{eff}[Ohm]$ - эффективное значение волнового сопротивления антенного контура модели LMA#5. $C_{eff}=C_1+C_2$. $C_{eff}=8,713$ нФ, $L_{eff}[мГн]$ - эффективное значение индуктивности внешнего соленоида LMA,

$L_1[мГн]$, $L_2[мГн]$ - эквивалентное значение индуктивности первой и второй обмоток внешнего соленоида LMA#5.

$U_{La}[V_{peak}]$ - амплитудное значение напряжения на обмотке внешнего

35 соленоида LMA#5. $Im[A_{peak}]=Im_1[A]+Im_2[A]$ - амплитудное значения суммарного тока, протекаемого по обмотке LMA#5.

ТАБЛИЦА 3

| U_{in} [mV] | Q | BW [Hz] | $Im[A]$ пик | p_{eff} | Im/I_0 | $p[A/$ sq.m] | H_d [mA/m] | Q^* | U_d [mV] | H_m [A/m] |
|------------------|--------|------------|----------------|-----------|----------|-----------------|-----------------|-------|---------------|----------------|
| 10 | 187.98 | 361 | 0.26 | 52 | 1.29 | 1.025 | 0.223821 | 138.5 | 0.00703 | 16.05 |
| 52 | 37.53 | 584 | 0.25 | 52 | 0.49 | 0.986 | 0.215305 | 85.3 | 0.00676 | 15.33 |
| 100 | 64.58 | 761 | 0.83 | 52 | 1.18 | 3.330 | 0.727001 | 65.3 | 0.02284 | 51.54 |
| 200 | 49.75 | 563 | 1.25 | 52 | 1.25 | 5.056 | 1.103848 | 88.2 | 0.03468 | 78.02 |
| 315 | 47.94 | 1173 | 1.89 | 52 | 1.35 | 7.642 | 1.668389 | 42.3 | 0.05241 | 117.80 |
| 440 | 45.04 | 1312 | 2.45 | 52 | 1.44 | 9.876 | 2.156164 | 37.9 | 0.06774 | 153.04 |
| 500 | 59.61 | 1314 | 3.66 | 52 | 2.03 | 14.679 | 3.204626 | 37.9 | 0.10068 | 228.34 |
| 625 | 43.29 | 1366 | 3.39 | 51 | 1.54 | 13.418 | 2.929456 | 36.7 | 0.09203 | 211.29 |
| 700 | 46.51 | 1369 | 4.11 | 51 | 1.71 | 16.086 | 3.511822 | 36.9 | 0.11033 | 256.49 |
| 880 | 45.15 | 1508 | 4.54 | 50 | 1.68 | 17.378 | 3.793862 | 33.8 | 0.11919 | 283.18 |
| 880 | 50.04 | 1508 | 5.04 | 49 | 1.87 | 19.233 | 4.198908 | 33.9 | 0.13191 | 314.35 |
| 880 | 50.04 | 1508 | 5.05 | 49 | 1.87 | 19.195 | 4.190707 | 34.0 | 0.13165 | 314.97 |
| 880 | 50.04 | 1508 | 5.06 | 49 | 1.87 | 19.158 | 4.182538 | 34.0 | 0.13140 | 315.58 |
| 880 | 44.60 | 1508 | 4.50 | 49 | 1.80 | 17.109 | 3.735195 | 34.0 | 0.11734 | 280.73 |

ТАБЛИЦА 4

| | U _{in} [mV] | R _n [Ohm] | Prad[W] | Rrad [Ohm] | Pout [W] | Po[W] | Pterm[W] | r _{eff} [Ohm] | r[Ohm] |
|----|-------------------------|-------------------------|---------|---------------|-------------|--------|----------|---------------------------|--------|
| 5 | 10 | 0.51 | 0.13 | 3.97 | 0.02 | 9.64 | 9.62 | 1.94 | 2.64 |
| | 52 | 2.03 | 0.17 | 5.61 | 0.06 | 24.10 | 24.04 | 9.77 | 4.30 |
| | 100 | 2.90 | 1.52 | 4.46 | 0.99 | 33.74 | 32.75 | 5.69 | 5.62 |
| | 200 | 3.76 | 3.70 | 4.73 | 2.94 | 48.20 | 45.26 | 7.40 | 4.17 |
| | 315 | 4.90 | 10.27 | 5.76 | 8.73 | 67.48 | 58.75 | 7.68 | 8.70 |
| 10 | 440 | 5.91 | 14.72 | 4.89 | 17.79 | 81.94 | 64.15 | 8.15 | 9.68 |
| | 500 | 5.46 | 28.16 | 4.20 | 36.61 | 86.76 | 50.15 | 6.15 | 9.66 |
| | 625 | 6.64 | 30.48 | 5.31 | 38.11 | 106.04 | 67.93 | 8.41 | 9.92 |
| | 700 | 6.93 | 35.21 | 4.17 | 58.60 | 115.68 | 57.08 | 7.78 | 9.82 |
| | 880 | 7.05 | 42.19 | 4.09 | 72.64 | 130.14 | 57.50 | 7.93 | 10.58 |
| 15 | 880 | 7.14 | 38.53 | 3.03 | 90.71 | 130.14 | 39.43 | 7.14 | 10.55 |
| | 880 | 7.13 | 41.16 | 3.23 | 90.89 | 130.14 | 39.25 | 7.13 | 10.51 |
| | 880 | 7.12 | 39.70 | 3.10 | 91.07 | 130.14 | 39.07 | 7.12 | 10.47 |
| | 880 | 8.00 | 38.12 | 3.76 | 81.01 | 120.50 | 39.49 | 8.00 | 10.51 |

где - R_n[Ohm] - сопротивление нагрузки антенного контура внешнего соленоида LMA#5, Prad[W] - мощность радиации, Pout[W] - мощность на выходе PA#1, а Po[W] - мощность, потребляемая от источников постоянного напряжения +E и -E, r[Ohm]- сопротивление потерь в контуре обмотки внешнего соленоида LMA.

На фиг.7 приведена принципиальная схема подсоединения однослойной обмотки внешнего соленоида модели ЛМА, выполненного плоским двухжильным кабелем с числом витков N=126 при использовании последовательной балансной одноконтурной резонансной цепи, подсоединенной к двум ИОУМ при мостовом способе соединения их выходов. Прецизионные сопротивления Rt1, Rt2 (равные в конкретном случае 0.47 Ом) позволили в процессе испытания ЛМА определить частотный спектр, форму, величину и фазу протекаемого по обмоткам внешнего соленоида тока «намагничивания». Сигнал с этих сопротивлений позволил обнаружить резонансную частоту f₀ и определить полосу пропускания BW (на уровне - 3dB). Автор, как и в предыдущем случае, использует в качестве ИОУМ стандартные интегральные операционные усилители фирмы National, в частности LM3886, которые при питании от двух упомянутых стабилизированных импульсных источников постоянного напряжения питания +24,2 вольта и -24,2 вольта при постоянном токе до 5,6 ампер позволяют на выходе ИОУМ достичь переменное напряжение (ниже границы заметного на глаз начала ограничения по амплитуде выходного напряжения ИОУМ, например, с использованием осциллоскопа) амплитудой, равной 44 вольта, и при резонансе в антенной цепи достичь амплитуд «намагничивающего тока» до 4 ампер при потреблении каждым ИОУМ от источников питания постоянного тока до 2,6 ампер.

При выполнении однослойной обмотки внешнего соленоида ЛМА плоским двухжильным кабелем антенный резонансный контур остается последовательной одноконтурной резонансной цепью, даже если конденсаторы C03, C13 и сопротивления Rt1, Rt2 отсутствуют, как это можно видеть из эквивалентной схемы фиг.8. Но для возможности в процессе испытания ЛМА определить частотный спектр, форму, величину и фазу напряжения на соленоиде в его центральной части необходимо разместить упомянутую выше в один виток «петлю обратной связи»,

выполненную из высокочастотного коаксиального кабеля. Сигнал с этой «петли» чуть ниже рабочего напряжения на одиночном витке обмотки, позволяет обнаружить момент наступления резонанса антенной цепи в целом, резонансную частоту f_0 , определить полосу пропускания BW (на уровне $-3dB$) при балансной схеме подсоединения антенного контура к выходам ИОУМ. Вместо отсутствующих упомянутых «контрольных» сопротивлений (как показано на фиг.8) конец одной из обмоток соединен с началом другой. При схеме подсоединения фиг.7:

а) магнитопровод намагничивается дважды протекаемым в контуре током,

б) между обмотками возникает напряжение, равное напряжению, достигнутому на каждой из обмоток в процессе резонанса, что создает постоянную напряженность электрического поля между каждым соответствующим смежным витком этих двух обмоток,

г) фактическая индуктивность каждой из обмоток выше в два раза измеренного значения отдельно взятой обмотки, это как бы в два раза увеличивает величину магнитной проницаемости магнитопровода ЛМА,

д) фактическая резонансная индуктивность соленоида антенны в четыре раза больше, чем измеренное значение каждой из обмоток в отдельности,

е) при настройке в резонанс частоты антенного контура с частотой «несущей», излучаемой ЛМА электромагнитной волны, амплитудное значение напряжения на каждой из обмоток выше на половинное значение добротности $Q^*(>30)$ антенного контура, чем амплитудное значение подводимого к антенному контуру напряжение с выхода ИОУМ. Оно практически может достигать нескольких тысяч вольт. Этот факт и позволяет использовать «низковольтные» ИОУМ в качестве источников питания антенной цепи ЛМА. В пластиковых коробках находятся соединенные определенным образом (последовательно и параллельно) современные малогабаритные стандартные конденсаторы, каждый из которых обладает тангенсом угла потерь менее чем 0,0003 при рабочем напряжении от 1000 до 1800 вольт в диапазоне частот не менее 1000000 герц и с величиной емкости от 0,001 микрофарад до 0,47 микрофарад, что позволило из них составить конденсаторы величиной до нескольких десятков микрофарад, способных работать при значениях амплитуды переменного напряжения до 4-6 киловольт и при значениях амплитуды переменного тока не менее 10 ампер для частот не менее 100000 герц. Так что набор таких «коробочек» обеспечил возможность проводить испытания моделей ЛМА на частотах от 1000 герц до 56000 герц. Длина кабелей, показанных на фиг.8 и фиг.7, от 1 м до 40 м.

В соответствии фиг.1 принципиальная схема балансного двухконтурного включения антенной цепи однослойной обмотки внешнего соленоида ЛМА, выполненного плоским двухжильным кабелем, позволяет:

а) снизить входное сопротивление антенной цепи не менее чем в четыре раза,

б) увеличить полосу пропускания BW не менее чем в два раза,

г) увеличить ток в обеих обмотках соленоида не менее чем в два раза при данном выходном напряжении ИОУМ, увеличив выходную мощность не менее чем в три раза,

д) эквивалентная индуктивность антенного контура равна значению индуктивности отдельно измеренной одной жилы обмотки внешнего соленоида ЛМА, и соответственно, значение эквивалентной резонансной емкости в два раза больше резонансного значения емкости в каждом отдельном контуре при настройке их в резонанс на одну и ту же частоту и в четыре раз больше при той же резонансной

частоте в одноконтурном варианте,

е) при незначительном различии резонансных частот в каждом из контуров, симметричных относительно частоты «несущей», достигается, при необходимости, дальнейшее увеличение ширины полосы пропускания BW без заметного уменьшения мощности излучения.

Как отмечалось ранее, на фиг.14 представлена эквивалентная схема обмотки соленоида ЛМА, выполненная в один слой плоским четырехжильным кабелем, то есть соленоид ее содержит четыре ($K=4$) одинаковые параллельные спиральные обмотки и антенный контур состоит из четырех ($k=4$) последовательных резонансных контуров. Преимущества, при необходимости использования многоконтурной схемы, аналогичны преимуществам, указанным для двухконтурной схемы антенного контура.

В принципе, четырехжильная обмотка внешнего соленоида позволяет использовать четыре его обмотки также в одноконтурной и в двухконтурной резонансной схеме антенного контура, при питании от одного, двух или четырех источников переменного напряжения, выполненных на ИОУМ.

Вообще, использование однослойной параллельно уложенной « K -жильной» спиралеобразной обмотки в соленоиде ЛМА дает возможность использования при фиксированном наборе резонансных конденсаторов ЛМА на разных фиксированных значениях частоты «несущей» при фиксированном наборе вариантов значений мощностей при данном числе используемых ИОУМ.

Наблюдается закономерность при K -«жильной» плоской однослойной обмотке внешнего соленоида ЛМА и при k -контурной резонансной цепи возбуждения антенной цепи, эффективная индуктивность одной обмотки в каждом из K -контуров будет в K раз больше, чем замеренное ее значение, когда она взята отдельно. Индуктивность одноконтурной обмотки, образованной согласованным соединением этих K обмоток будет в K^2 раз выше измеренного значения любой из обмоток отдельно взятой.

Пояснения к фиг.9-11.

Особенностью данных ЛМА является тот факт, что обмотка 7 внешнего соленоида 2 выполнена в один слой и K ($K=2, 3, 4, \dots$)-жильным плоским кабелем. Каждая жила проводника электрического тока обладает персональной электроизоляцией, рассчитанной на работу при температурах более 60 градусов по Цельсию, при амплитудном значении межвиткового напряжения не менее 5 киловольт.

Обмотка 7 внешнего соленоида 2 на фиг.9-11 для простоты содержит в один слой два полных витка ($N=2$) четырехжильного электрокабеля ($K=4$): это жилы 8, 9, 10, 11. Сечение провода каждой жилы рассчитывается на прохождение переменного тока с амплитудным значением большим, чем рабочее значение амплитуды тока, протекаемого по данной жиле при плотности тока, не превышающей 7 ампер/кв. мм.

Диэлектрическая оболочка 4, находящаяся в пространстве, заключенном между внешней боковой поверхностью магнитопровода 1 и мысленно продолженной внутренней цилиндрической поверхностью каркаса 3 обмотки 7 внешнего соленоида 2 ЛМА, представленных на фиг.9, 10 и 17.

С физической точки зрения оболочка 4 служит тем пространством, в котором и «синтезируется вектор Умова-Пойнтинга» за счет ортогонального пересечения электрических «силовых линий», представленных в виде красного цвета окружностей, охватывающих внешнюю поверхность магнитопровода 1

«соленоидального векторного» электрического поля с амплитудным значением напряженности $E_{\varphi m}$ электрического поля с силовыми линиями продольного магнитного поля с амплитудным значением H_m , изображенных на фиг.10 в виде черных векторов H_m , проходящих параллельно центральной оси ЛМА, порожденными токами с амплитудным значением $Im1, Im2, Im3, Im4$ соответственно, протекаемыми по жилам 8, 9, 10, 11 обмотки 7 «внешнего» соленоида 2.

Силовая линия поля E_{0m} на фиг.10 представлена в виде красного цвета окружности, охватывающей внешнюю поверхность «внешнего» соленоида 2.

Векторы с амплитудным значением напряженности $E_{\varphi m}$ «соленоидального векторного» электрического поля представлены в виде красного цвета векторов, направленных по касательной к соответствующим упомянутым силовым электрическим линиям.

Кабель 5 «управляющей» обмотки, проложен в сквозном продольном осевом канале 6 магнитопровода 1:

а) при подаче на него постоянного тока «управления» I_0 от регулируемого «источника тока» позволяет изменять эффективную индуктивность антенного контура в пределах не выше 5% ее значения, и может служить «триммером» этой цепи при профилактической настройке резонанса антенного контура или

б) может быть частью «замкнутого контура регулирования собственной резонансной частоты f_0 антенного контура в процессе электромагнитной трансляции антенной.

в) позволяет устранить неоднозначность положения «рабочей точки» на кривой намагничивания материала магнитопровода.

Дело в том, что в силу нелинейного характера магнитной проницаемости ферромагнитного материала или в силу изменений внутренней температуры тела магнитопровода, зависимой от внешней температуры и от тепла, выделяемого соленоидом 2 и материалом магнитопровода 1 в рабочем режиме, может измениться значение резонансной частоты антенного контура.

При наличии не меняющих свою величину емкостей конденсаторов в антенном контуре для сохранения тактико-технических характеристик окажется необходимым применить систему автоматического регулирования собственной резонансной частоты антенного контура.

«Управляющий» ток I_0 создает «управляющее» магнитное поле, циркулирующее в ортогональной плоскости к центральной продольной оси в теле магнитопровода 1.

На фиг.10 и фиг.13 условно силовая магнитная линия «управляющего» магнитного поля изображена в виде черного цвета окружности на левом торце магнитопровода 1, а величина напряженности H_0 постоянного управляющего поля представлена на фиг.10 черного цвета вектором, направленным по касательной к упомянутой силовой магнитной линии.

Вызванное «управляющим» постоянным током I_0 ортогональное постоянное управляющее магнитное поле H_0 изменяет магнитную проницаемость материала магнитопровода, что и позволяет в пределах не менее 2% изменять собственную частоту антенного контура ЛМА, то есть осуществлять тонкую подстройку собственной частоты резонансного контура f_0 внешнего соленоида ЛМА.

О выборе ферритового материала магнитопровода ЛМА.

Как можно видеть, удлиненное тело магнитопровода ЛМА для продольного магнитного поля, создаваемое током в соленоиде, является разомкнутой магнитной цепью. Отсюда специфика расчетов основных электромагнитных характеристик

магнитопровода ЛМА.

В силу факта, что магнитные силовые линии для продольного переменного магнитного поля разомкнуты, естественно предположить, что значение относительной величины магнитной проницаемости для магнитопровода ЛМА
5
значительно ниже не только «начальной» магнитной проницаемости материала ферритовых чашечек (обычно проводят измерения с использованием тороида, изготовленного из испытуемого материала, по крайней мере, для релевантных ЛМА частотах), но и «эффективной» магнитной проницаемости, указанной в каталоге для
10
одного комплекта (для специально подобранной пары чашечек) чашечек, используемых поодиночке при построении магнитопровода ЛМА.

Практически, если магнитопровод был бы изготовлен цельно из того же материала, и того же размера, то выигрыш в величине магнитной проницаемости незначителен в сравнении с технологическими и финансовыми трудностями его
15
изготовления.

Для технологически выдержанных «цельно-сплошных» стержней данного материала при длине стержня в 20-30 раз больше его диаметра относительная магнитная проницаемость была бы порядка корня квадратного из величины
20
«начальной» магнитной проницаемости магнитного материала, из которого были изготовлены. Известно, что длиной от 60 до 80 сантиметров в США по спецзаказу «без разрешения вывоза вне территории США» изготавливаются промышленностью «цельносплошные» ферритовые стержни без центрального сквозного канала с
25
диаметром, не превышающим приблизительно 3,6 см.

Заявителем была выведена в 1980 г (по заказу в своем оригинальном теоретическом материале, отправленном в США, на основе которого американской компанией была оформлена в 1982 г. заявка на патент США №4458248) формула для
30
расчета эффективной магнитной проницаемости при одном весьма необычном предположении относительно «средней длины магнитной силовой линии» для переменного продольного магнитного поля, при условии, что длина волны источника, возбудившего это магнитное поле, по крайней мере, на два-три порядка
35
больше длины этого ферритового стержня.

А именно, что средняя длина силовой магнитной линии равна длине волны источника тока, создавшего магнитный поток внутри внешнего соленоида ЛМА, по
40
обмотке которого он протекает. Это предположение физически является следствием предположения, что радиус сферы, занимаемый излучаемым фотоном для данной частоты источника тока, равен $\lambda_0/2\pi$.

С феноменологической точки зрения: «магнитная линия», выйдя из одного торца магнитопровода ЛМА, если предположить ее начало в геометрическом центре
45
магнитопровода ЛМА, обогнув внешнее пространство, должна вернуться в эту точку через второй его торец точно за время, равное периоду $T=\lambda_0/c_0$, где λ_0 , c_0 - соответственно длина волны и скорость электромагнитной волны в открытом
50
пространстве.

При проектировании магнитопровода заявитель пользуется этой формулой для предварительной оценки эффективного значения относительной магнитной проницаемости:

$$\mu_{\text{е}} = 1 + \frac{1_m}{\lambda_0} \mu_n \sqrt{\mu_n} (2.5 - 1), \text{ где } \mu_n - \text{ начальная магнитная проницаемость}$$

материала замкнутого магнитопровода. Например, при длине $l_m=1,08$ м магнитопровода модели ЛМА, условно названной ЛМА#8, при $\mu_n=3200$ и частоте $f=$

51200 герц $\lambda_0=5859.375$ м, рассчитанное значение $\mu_r=33,37$. Измеренное значение эффективной магнитной проницаемости магнитопровода LMA#8 на данной частоте $\mu_{eff}=30.24$. Но для этой модели (так же как и модели LAM#5) отношение $\frac{d_c}{d_m} = 1.87$,

5 что снижает значение эффективной магнитной проницаемости в магнитопроводе, где d_c и d_m соответственно диаметр обмотки внешнего соленоида и диаметр магнитопровода.

10 Найдено что для одноконтурной схемы антенной цепи модели LMA#8 значение эффективной магнитной проницаемости $\mu_{eff}=16$, а для модели LMA#5, как отмечалось ранее, при $l_m=1,92$ м $\mu_{eff}=25,5$.

Об амплитудном значении напряженности электрического поля E_{0m} и об амплитудном значении вектора Умова-Пойнтинга $S_{m\ eff}$.

15 На фиг.10 вектор напряженности электрического поля E_{0m} представлен в виде вектора красного цвета, приложенного в точке касания к красного цвета окружности (лежащей в перпендикулярной центральной оси плоскости), представляющей силовую электрическую линию «соленоидального векторного» электрического поля, охватывающего боковую поверхность обмотки 7 внешнего соленоида 2 ЛМА.

20 Это электрическое поле с амплитудным значением напряженности электрического поля E_{0m} численно прямо пропорционально возникшему напряжению на одном витке обмотки 7 внешнего соленоида 2 под воздействием суммарного значения амплитуд токов, протекаемых по К-жильному плоскому кабелю обмотки 7 и обратно пропорционально периметру обмотки 7 внешнего соленоида.

25 Амплитудное значение вектора Умова-Пойнтинга $S_{m\ eff}$ представлено на фиг.10 сиреневого цвета вектором $S_{m\ eff}$, перпендикулярного плоскости, в точке которой лежат вектор $E_{\varphi m}$ и вектор H_m , и именно в этой точке имеет место ортогональное пересечение силовых линий «соленоидального векторного» электрического поля $E_{\varphi m}$ с силовыми линиями продольного магнитного поля H_m .

В направлении вектора Умова-Пойнтинга $S_{m\ eff}$ происходит излучение электромагнитных волн с длиной λ_0 .

35 На фиг.10 на расстоянии ρ от точки «О» геометрического центра ЛМА в перпендикулярной центральной оси («экваториальной») плоскости, проходящей через точку «О», представлены компоненты электромагнитного поля $\vec{E}_{\varphi m}(\rho, \theta=0)$ и $\vec{H}_{\varphi m}(\rho, \theta=0)$. Оба этих вектора лежат в одной плоскости, перпендикулярной радиус-вектору $\vec{\rho}$. Вектор красного цвета $\vec{E}_{\varphi m}(\rho, \theta=0)$ направлен по касательной к окружности радиуса ρ , лежащей в «экваториальной» плоскости, тогда как вектор черного цвета $\vec{H}_{\varphi m}(\rho, \theta=0)$ направлен параллельно центральной оси ЛМА.

45 Черного цвета вектор Умова-Пойнтинга $\vec{S}_m(\rho, \theta=0)$ символизирует радиацию, объясняемую существующей теорией «Рамочных и Магнитных Дипольных антенн», тогда как фиолетового цвета вектор Умова-Пойнтинга $S_{m\ eff}$ символизирует излучение электромагнитных волн, обусловленного «синтезом Вектора Умова-Пойнтинга», возникшего в пространстве оболочки 4 ЛМА.

50 Фиг.11 представляет случай, когда магнитопровод 1 ЛМА выполнен с использованием ферритовых чашечек 19 «без зазора» РМ-типа (см. Каталог фирмы EPCOS).

Комплект РМ состоит из двух подобранных по магнитным и механическим

характеристикам ферритовых чашечек «без зазора» 19 и каркаса, на котором можно поместить обмотку 15 электрического изолированного провода секции «внутреннего» соленоида 16 магнитопровода 1 ЛМА (см. фиг.13). Данный комплект ферритовых чашечек РМ-типа отличается от аналогичного комплекта ферритовых чашечек Р-типа с точки зрения проектанта ЛМА тем, что имеет в боковой цилиндрической поверхности увеличенного размера две расположенные напротив друг друга полости, в дальнейшем называемыми «окнами» в боковой поверхности ферритовой чашечки РМ-типа.

Эти полости в боковой поверхности симметричны относительно плоскости внутренних торцов соприкосновения этих двух чашечек. На фиг.13 можно рассмотреть эти боковые поверхности полостей комплекта РМ. Магнитопровод ЛМА может содержать М-ное количество чашечек РМ-типа в определенном месте магнитопровода, с размещенной внутри однослойной обмоткой 15 изолированного провода.

В дальнейшем будем называть этот внутри ферритовой чашечки РМ-типа находящийся соленоид 16 с однослойной обмоткой 15 секцией «внутреннего» 16 соленоида магнитопровода 1 ЛМА. Вывод провода 20а секции «внутреннего» соленоида 16 является «началом» обмотки 15, а вывод провода 20б секции «внутреннего» соленоида 16 является «концом» обмотки 15.

Пояснение к изображению на фиг.13

Одна из составных частей ферритовой чашечки 19 магнитопровода 1 ЛМА, с использованием комплекта ферритовых чашечек типа РМ, изображена на фиг.13 в разрезе. На нем условно показана половина продольного разреза комплекта двух соединенных друг с другом внутренними торцовыми поверхностями ферритовых чашечек в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Через продольный осевой канал проходит кабель 5, по которому может поступать «управляющий» постоянный ток I_0 , который создает постоянное «управляющее» магнитное поле со значением напряженности магнитного поля H_0 , циркулирующее в ферромагнитном теле части чашечки 19 в плоскости, ортогональной ее центральной продольной оси. Направление тока I_0 обозначено стрелкой, а траектория циркуляции вектора H_0 условно обозначена в виде черного цвета окружности и стрелкой. Тело ферритовых чашечек 19 находится под воздействием продольного магнитного поля H_m , созданного протекаемыми токами по обмоткам «внешнего» соленоида 2 ЛМА, условно обозначенными черного цвета векторами напряженности H_m , направленными параллельно центральной продольной оси. Переменный ток I_{1m1} поступает на вывод начала, обозначенного черным цветом внутренней однослойной обмотки 15 «внутреннего» соленоида 16, и выходит через обозначенный синим цветом вывод обмотки 15 «внутреннего» соленоида 16. Этот ток I_{1m1} создает циркулирующее переменное магнитное поле H_{1m} в продольных плоскостях ферритового тела этой секции 19. Условно направление циркуляции вектора напряженности магнитного поля H_{1m} показано в виде силовой магнитной линии фиолетового цвета, изображенной в плоскости продольного разреза секции 19. Данное магнитное поле создает «соленоидальное векторное» электрическое поле, циркулирующее в вертикальных плоскостях внутренней полости вокруг обмотки 15 «внутреннего» соленоида 16. Условно силовые линии 18 «соленоидального векторного» электрического поля, представлены в виде дуг селенового цвета. Силовые линии этого электрического поля лежат в ортогональных центральной продольной оси плоскостях и находятся под воздействием продольного магнитного

поля H_m , при этом силовые линии обеих полей пересекаются. В точках пересечения этих силовых линий вектор напряженности электрического поля $E_{1\varphi m}$ и вектор напряженности продольного магнитного поля H_m перпендикулярны между собой. В момент пересечения силовых линии упомянутых полей и в данной точке пересечения возникает излучение электромагнитной волны с частотой f «несущей». Что символизируется происхождением вектора Умова-Пойнтинга $\vec{S}_{1\rho m \text{eff} f}(\rho, \theta)$, который изображен в виде фиолетового цвета вектором $\vec{S}_{1\rho m \text{eff} f}(\rho, \theta)$ в точке, удаленной на расстояние ρ от центральной продольной оси. Электромагнитная радиация, порожденная описанным выше процессом «синтеза вектора Умова-Пойнтинга», выходит из внутренней полости секции ферритовых чашечек 19 через имеющиеся с двух сторон «окна» в их боковой поверхности. Порожденные вектором $\vec{S}_{1\rho m \text{eff} f}(\rho, \theta)$ компоненты напряженности электрического поля $\vec{E}_{1\varphi m}(\rho, \theta)$ и напряженности магнитного поля $\vec{H}_{1\theta m}(\rho, \theta)$ на расстоянии ρ изображены в виде векторов соответственно селенового и синего цвета.

Для того чтобы добиться максимальной мощности электромагнитного излучения нужно оба процесса «синтеза вектора Умова-Пойнтинга» сделать когерентными путем соответствующего фазового сдвига между суммарным током I_m во внешнем соленоиде 2 и током I_{1m1} во внутреннем соленоиде 16 секции ферритовых чашечек 19 типа РМ.

На фиг.14 приведена схема подключения однослойной обмотки внешнего соленоида 2, выполненного плоским К-жильным кабелем ($K=4$) при подключении его K жил в одноконтурную балансную резонансную цепь ($k=1$), которая получает внешние питание от двух ИОУМ 13, выходы которых подсоединены непосредственно к резонансным конденсаторам 12. Выходной переменный ток I_m частоты f проходит сквозь конденсаторы 12 по соединенным согласованно в последовательный резонансный антенный контур обмоткам жил 8, 9, 10, 11, создавая в магнитопроводе 2 продольное переменное магнитное поле частоты f с напряженностью магнитного поля H_m , представленной в виде вектора H_m черного цвета.

Амплитудное значение выходного напряжения ИОУМ 13 равно U_{out} . С источника гармонического сигнала 14 частоты f подается непосредственно напряжение на не инвертируемый вход левого ИОУМ 13 и инвертируемый вход правого ИОУМ 13. В момент, когда частота f совпадет с резонансной частотой f_0 последовательного антенного контура, циркулирующий по ней электрический ток I_m достигает по амплитуде максимального значения. Фаза тока и фаза напряженности магнитного поля в магнитопроводе совпадают. Напряжение U_m на концах проводов внешнего соленоида 2 ЛМА совпадает по амплитуде с суммарным напряжением, приложенным к конденсаторам 12, но по фазе опережает на 90 градусов фазу контурного тока I_m , а следовательно, и фазу напряженности магнитного поля H_m .

На фиг.15 и фиг.16 обозначения составных элементов аналогичны обозначениям на фиг.14, отличаются лишь тем, что в схеме фиг.15 концы жил 8, 9, 10, 11 внешнего соленоида 2 соединены таким образом, чтобы образовать антенную резонансную цепь в виде двух ($k=2$) последовательных резонансных контуров, входы которых, в отдельности, подсоединены непосредственно к аналогичной паре ИОУМ 13, на входы которых подается гармонический сигнал источника 14. Схема фиг.16 представляет случай, когда выходные концы жил 8, 9, 10, 11 образуют антенную цепь в виде

четырёх ($k=4$) последовательных резонансных контуров, каждый вход которых подсоединен к своей паре ИОУМ 13, с синхронным подсоединением их входов к источнику гармонического сигнала 14. В обоих случаях может быть целесообразно на выходах пары ИОУМ 13 включить согласующий понижающий трансформатор с антенным резонансным контуром.

На фиг.17 цифрами обозначены основные элементы блок-схемы передающего устройства цифровой информации, в состав которого входит ЛМА.

1 - ферромагнитный магнитопровод ЛМА. Требуемая величина радиационной мощности обуславливает величину его диаметра. Длина его не менее чем в 20-30 раз превышает диаметр внешнего соленоида.

2 - ее внешний соленоид, длина которого выбирается в пределах от половины до трети длины магнитопровода.

7 - плоский многожильный ($K=2, 3, 4, \dots$) кабель однослойной спиральной обмотки внешнего соленоида,

4 - диэлектрическая оболочка, в пределах которой происходит ортогональное пересечение «соленоидального векторного» электрического поля, силовые электрические линии которого лежат в плоскости, ортогональной центральной продольной оси ЛМА, охватывая боковую поверхность магнитопровода 1, с продольным магнитным полем, созданным протекаемым переменным током несущей частоты f по обмотке 7 внешнего соленоида 2. Она может служить каркасом обмотки внешнего соленоида ЛМА. Величина внутреннего ее диаметра и внешнего ее диаметра зависят, от величины диаметра магнитопровода и диаметра внешнего соленоида соответственно при отношении этих величин менее 0,5. В противном случае произойдет существенное снижение эффективной величины магнитной проницаемости магнитопровода ЛМА.

В момент ортогонального пересечения силовых линий упомянутого электрического и магнитного полей в точке их пересечения в пределах тела оболочки 4 происходит излучение электромагнитных волн с длиной волны $\lambda_0=c_0/f$.

Этот процесс возникновения электромагнитной радиации связываем с феноменом «искусственного синтеза Вектора Умова-Пойнтинга» за счет пересечения электрического и магнитного полей в пределах тела оболочки 4.

6 - продольный сквозной центральной оси канал в теле магнитопровода 1.

5 - кабель, проходящий сквозь канал 6, по которому проходит постоянный «управляющий» ток I_0 , создающий постоянное «управляющее» магнитное поле H_0 , циркулирующее в теле магнитопровода 1 в плоскостях, ортогональных его центральной продольной оси. Это постоянное «управляющее» магнитное поле H_0 устраняет неоднозначность нахождения «рабочей точки» на кривой намагничивания магнитопровода ЛМА, а также приводит к изменению эффективной величины магнитной проницаемости μ_{eff} в продольном направлении магнитопровода 1 и позволяет в пределах не менее 2% подстраивать собственную резонансную частоту f_0 .

20a и 20b - кабели, подсоединенные к условно принятому началу и концу обмоток «внутреннего» соленоида в теле магнитопровода 1.

22 - это термостабилизированный прецизионный задающий осциллятор гармонического сигнала, обладающий частотной стабильностью не хуже 10^{-9} , с низким уровнем фазовых шумов для нормального функционирования системы с QPSK (четырёхфазовой) или HPSK (шестнадцатифазовой) дискретной фазовой модуляции несущей частоты f при односторонней трансляции в эфир цифровой

информации (символов ASCII).

34, 35 - соответственно К ($K=2, 3, 4, \dots$)-жильный электрический кабель, подходящий к условно обозначенному началу и концу обмотки 7 внешнего соленоида 2 ЛМА.

5 23 - это цепь коммутации и «магазин» набора постоянных конденсаторов 12 для к ($k=1, 2, 3, 4, \dots$) контурной резонансной антенной цепи и согласующих понижающих трансформаторов.

10 В связи с тем, что на концах обмотки 7 внешнего соленоида в момент резонанса антенного контура развивается высокое напряжение, амплитуда которого может достигать 2-5 киловольт, а протекаемый ток до 10 ампер и более, это устройство должно быть расположено в непосредственной близости с ЛМА.

15 24 - это аналогичное устройство с 23, только предназначено для нормального функционирования «внутреннего» соленоида 16, если при образовании магнитопровода 1 из ферритовых чашечек входят ферритовые чашечки РМ-типа.

20 21 - это одновитковая петля, выполненная из коаксиального 75 Ом кабеля для обратной связи «замкнутого контура автоматического регулирования собственной резонансной частоты» антенного контура. Она плотно обволакивает боковую поверхность внешнего соленоида 2 в его центральной части.

25 25 - это входное прецизионное спектрометрическое цифроаналоговое устройство «замкнутого контура автоматического регулирования собственной резонансной частоты» I_0 антенного контура, и выходной прецизионный цифроаналоговый формирователь с парой ИОУМ 13, вырабатывающей «управляющий» ток I_0 в кабеле 5 в соответствии с кодом, полученным с шины, соединяющей блок 25 с блоком 36.

30 26 - это устройство, если при образовании из ферритовых чашечек магнитопровода 1 ЛМА входят ферритовые чашечки РМ-типа, включающие в себя пары Интегральных Операционных Усилителей Мощности ИОУМ 13 для питания резонансного контура «внутреннего» соленоида 16 гармоническим переменным напряжением «несущей» частоты f и ступенчатый фазовращатель, для точной настройки фазы электрического поля, возникающего в пустотах вокруг внутренней обмотки 15 ферритовых чашечек РМ-типа относительно фазы продольного магнитного поля в теле магнитопровода 1, созданного внешним соленоидом 2 ЛМА. Как правило, в момент резонанса на частоте f «несущей» в цепи «внутреннего» соленоида 16 и в цепи «внешнего» соленоида 2 фаза тока, протекающего по обмотке 15 «внутреннего» соленоида 16 и фаза тока, протекающего по обмотке 7 «внешнего» соленоида 2 должны отличаться приблизительно на 90 градусов.

Токи протекающие по обмоткам «внутреннего» и «внешнего» соленоидов когерентны по фазе.

45 Такая фазовая настройка требуется для получения максимально излучаемой мощности ЛМА за счет «искусственного синтеза Вектора Умова-Пойнтинга».

27 - это устройство обеспечения питанием к-контурной резонансной антенной цепи для создания продольного магнитного поля в теле магнитопровода 1 за счет протекания по обмотке 7 «внешнего» соленоида 2 тока «несущей» частоты f .
50 Ступенчатый фазовращатель в этом устройстве отсутствует.

28 - активный полосовой фильтр, или цифровой полосовой фильтр, для нормального функционирования последнего требуется подвести гармонический сигнал с блока осциллятора 22 через кабель 30, показанный пунктиром.

Этот полосовой фильтр обеспечивает прохождение сигналов с процессора 29 только в пределах требуемой полосы BW для пропускания типа дискретной фазовой модуляции «несущей» частоты f : QPSK, или HPSK.

29 - цифровой процессор, включающий в себя:

а) цифровой прецизионный регулируемый синтезатор сигнала «несущей» частоты f ,

б) прецизионный формирователь дискретного M ($M=4$ или 16) набора гармонических сигналов частоты «несущей» f с числом M фаз (для $M=4$: набор четырех дискретных фазы с интервалом в 90 градусов, для $M=16$: набор шестнадцати фаз с интервалом $22,5$ градуса), строго когерентных гармоническому сигналу осциллятора 22,

в) формирователь набора временных слотов.

Длительность каждого слота занимает от 20 до 30 периодов сигнала «несущей» частоты f . При этом серия этого набора временных слотов появляется, когда получен сигнал с компьютера 36 для разрешения считывания с его шины очередного символа ASCII.

В нем производятся стробирование и синхронизация заднего и переднего фронта каждого временного слота (фронты когерентны фазе гармонического сигнала осциллятора 22), в течение которого передается то или иное из M дискретное фазовое значение на 28,

г) цифровой коммутатор, выдающий на шину в направлении к 28 гармонический сигнал только необходимой одной фазой из M возможных дискретных фаз в нужный момент, в течение временного слота, заранее определенного в соответствии с протоколом трансляции цифровой информации, поступающей асинхронно с 36.

Нужно принять во внимание, что при QPSK ($M=4$) для передачи символа ASCII требуются четыре слота (в одной посылке вмещается число битов $m=2$), тогда как при HPSK ($M=16$) требуется для передачи символа ASCII лишь два слота (в одной посылке вмещается один гексагональный разряд с числом битов $m=4$). А это значит HPSK при той же полосе пропускания BW на заданной частоте «несущей» f позволяет передать в два раза больше информации в сравнении с QPSK.

д) шифратор, определяющий, какой бит полученного с компьютера 36 символа ASCII (это 1 байт, он содержит 8 бит, а это значит «содержит» два гексагональных разряда по четыре бита в каждом) соответствует конкретному значению фазы из дискретного набора M значений фаз гармонического сигнала частоты «несущей» f .

е) содержит формирователь, который в соответствии с заданным шифром формирования из набора числа m (для $M=4$ $m=2$, для $M=16$ $m=4$) битов из 8 имеющихся в байте, представляющим символ ASCII, вырабатывает для требуемого слота только нужное одно значение фазы из M возможных дискретных значений в соответствии с имеющимся протоколом трансляции информации.

з) содержит и другие функциональные блоки для обеспечения надежной работы в целом передающего устройства в эфир.

33 - это шина с двухсторонним сообщением между 36 и 29, содержащая сигнальные провода, и 8 проводов для передачи параллельно 8 бит передаваемого символа ASCII.

36 - это персональный компьютер, передающий в асинхронном режиме информацию в виде символов ASCII в соответствии с разработанной специально программой.

Обрабатывает цифровую информацию, полученную с блока 25 и выдает в виде

кода сигнал для цифроаналогового преобразователя в блоке 25 о необходимости изменения в кабеле 5 величины и знака «управляющего» тока I_0 с целью поддержания собственной частоты f_0 антенного контура, равной частоте «несущей» f , или «рабочей точки» на кривой намагничивания материала магнитопровода 2 ЛМА. Выполняет и другие необходимые функции в обеспечении надежной трансляции передаваемой в эфир цифровой информации.

Описание работы QPSK передающего устройства с использованием модели ЛМА, условно названной LMA#5, в режиме CW (в отсутствие поступления с компьютера очередного символа ASCII) на частоте 51200 герц. Вообще данная модель ЛМА рассчитана на работу на одной из частот в диапазоне 25-52 кГц для передачи символов ASCII со скоростью 2 кбит/сек при использовании QPSK (цифровой четырех фазовой модуляции частоты несущей) в полосе менее 2 кГц.

Основные ее характеристики.

Длина магнитопровода $l_m=198$ см, магнитопровод 1 представляет собой цилиндрическое ферритовое тело с центральным осевым внутренним отверстием 6, выполненное с использованием ферритовых чашечек «Р» типа.

Внешний диаметр магнитопровода $d_m=3$ см. В центральной части магнитопровода расположен внешний соленоид 2 с однослойной обмоткой 7, выполненной плоским двухжильным кабелем при числе витков $N=126$ в двойной изоляции медного провода. Средний диаметр обмотки соленоида $d_c=5.56$ см, а его длина $l_c=108$ см.

Магнитопровод 1 находится внутри диэлектрической оболочки 4, внутренний диаметр которой 32 мм, а внешний ее диаметр 50 мм. По одножильному кабелю 5, протетому через центральный осевой канал 6 магнитопровода 1, подается «управляющий» величиной магнитной проницаемости магнитопровода 1 ток I_0 от источника постоянного напряжения (находящийся в блоке 25). В двух пластиковых коробочках 23 находятся одинаковой величины два постоянных резонансных конденсатора 12. Используется двухконтурная (последовательная) антенная резонансная цепь, подсоединенная параллельно к выходам пары ИОУМ (Интегральным Операционным Усилителям Мощности) 13, выходы которых подсоединены по «балансной» мостовой схеме. На входы упомянутой пары ИОУМ 13 подаются в противофазе гармонический сигнал частоты «несущей» f с двух выходов парафазного разветвителя 27.

Итак, возникший при резонансе в каждом из двух последовательных резонансных антенных контурах ток частоты «несущей» f проходит по «своей жиле» однослойной обмотки 7 «внешнего» соленоида 2, создавая продольное переменное магнитное поле частоты несущей f , которое и вызывает радиацию электромагнитных волн на несущей частоте f во внешнем пространстве. Чем выше напряжение на входах пары ИОУМ 13, следовательно, и на входе блока 27, тем выше значение тока в обмотке 7 внешнего соленоида 2, и тем мощнее радиация во внешнем пространстве.

Максимальный уровень тока, протекаемого по обмотке 7 внешнего соленоида 2, таков, что в материале магнитопровода 1 уровень создаваемой магнитной индукции не превышает 0,1 магнитной индукции насыщения, что обеспечивает линейный режим работы, избегая вынужденных параметрических эффектов. А подача постоянного «управляющего» тока на кабель 5 определенной величины, в данном случае $I_0=2,5$ А, позволяет избежать неоднозначности нахождения рабочей точки на кривой намагничивания материала магнитопровода 1. Изменение величины «управляющего» тока в кабеле 5 в небольших пределах в ту или иную сторону от

заданного упомянутого уровня позволяет в пределах до половины полосы BW пропускания плавно подстраивать собственную резонансную частоту f_0 двухконтурной резонансной цепи ЛМА.

5 В результате физических процессов, происходящих в пространстве оболочки 4, а именно за счет «искусственного синтеза Вектора Умова-Пойнтинга» ЛМА излучает в режиме CW в окружающее пространство электромагнитные волны с частотой f «несущей» на одной из четырех возможных дискретных значений фазы, принятой при асинхронном методе цифровой трансляции за «стоп» последовательности.

10 Частотный спектр, излучаемый ЛМА в открытое пространство, регистрируемое с помощью Рамочной Антенны, представлен на фиг.4.

15 Аналогично выглядит частотный спектр на экране компьютера 36, полученный с выхода упомянутого выше «спектрометрического аналого-цифрового» преобразователя блока 25, на вход которого поступает сигнал с «петли обратной связи» 21. С помощью такой «картинки» вручную или автоматически, по уровню «пика» сигнала можно (по максимуму показания) изменением величины «управляющего» тока I_0 в кабеле 5 подстроить антенный контур в резонанс с частотой «несущей» f , в данном случае равной 51200 герц.

20 Поскольку магнитопровод 1 модели ЛМА#5 образован из ферритовых чашечек типа P, то работа блоков 24 и 26, как и происходящие процессы во «внутренних» соленоидах 16 не рассматривается.

25 Прецизионный осциллятор 22 гармонического сигнала частоты 16386000 Гц с помощью четырехканального цифрового синтезатора в блоке 29 вырабатывает на его четырех выходах когерентный по фазе осциллятору 22 периодический сигнал периода T «несущей» частоты f , но на каждом из четырех его выходов фаза сдвинута относительно друг друга точно на 90 градусов. Данный частотный синтезатор позволяет дискретно с определенным дискретным шагом при необходимости менять значение «несущей» частоты f , оставаясь когерентной по фазе осциллятору 22 на
30 каждом из его четырех выходов. Далее в блоке 29 эти выходы четырехканального цифрового синтезатора, выполненного на стандартных интегральных элементах типа QMOS, поступают на стандартный интегральный элемент четырехканального аналого-цифрового коммутатора. С аналогового выхода интегральной схемы
35 упомянутого коммутатора может поступить периодический сигнал периода T частоты «несущей» f на вход блока 28 «полосового» фильтра (BPF) сигнал с одного из четырех аналоговых входов упомянутого коммутатора в зависимости от кода (в параллельном виде), поступившего на цифровой его вход. Обычно, при отсутствии
40 новой порции информации, поступающей с компьютера 36 по шине 33 в процессор 29, на вход BPF 28 с выхода 29 (с выхода упомянутого коммутатора в блоке 29) поступает непрерывно периодический сигнал периода T «несущей» частоты f , принятой той или иной из четырех возможных фаз частоты «несущей», которая принята в качестве «стоп» последовательности при асинхронном виде
45 передачи информации с компьютера 36 в блок 29.

50 На фиг.5 приведен вид частотной характеристики принятого сигнала данной модели ЛМА, полученной с помощью приемной ферритовых антенны, установленных на определенном расстоянии в «экваториальной» плоскости при «азимутальном угле», равном 0, и когда частота собственная резонансная частота обеих контуров антенной цепи была равна 46760 герц.

Компьютер 36, передает по шине 33 в соответствии с разработанной программой в асинхронном режиме необходимую цифровую информацию в виде символов ASCII

в соответствии с разработанной специально программой в блок 29 (используется «параллельный» порт для связи с процессором 29, в данном случае блок 29 является QPSK модулятором и QPSK демодулятором, последний включен в цепь «обратной связи», которая проверяет правильность транслируемой ЛМА информации, получая сигнал с «петли» 21 обратной связи).

На фиг.6 приведена структура электромагнитного поля вокруг ЛМА в свободном пространстве.

Основные составляющие электромагнитного поля ЛМА в открытом пространстве.

В связи с тем, что длина магнитопровода ЛМА всегда много меньше длины волны в диапазоне частот ее применения и при соотношении геометрических параметров, оговоренных в самом определении ЛМА, как Линейного Магнитного Диполя (ЛМД), можно представить картину ориентации электрической (E_{φ}) и магнитных (H_{ρ} и H_{θ}) составляющих электромагнитного поля в открытом пространстве, как это представлено на фиг.7

Обращаясь к вышеприведенному изображению, заявитель составляющую \vec{E}_{φ} условно называет «тангенсальной», или «меридианной», составляющую \vec{H}_{θ} - «азимутальной», а составляющую \vec{H}_{ρ} - «радиальной».

Обычные «электрические» антенны, в отличие от «магнитных», обладают одной «тангенсальной», или «меридиальной» магнитной составляющей $H_{m\varphi}$ и двумя электрическими составляющими: «радиальной» $E_{m\rho}$ и «азимутальной» $E_{m\theta}$. Для частот ниже 15000 герц такие «электрические» антенны являются сложными инженерными сооружениями, занимающие огромные площади с радиусом не менее нескольких километров. Обладая в «ближней зоне» мощными электрическими составляющими «радиальной» $E_{m\rho}$ и «азимутальной» $E_{m\theta}$, если бы даже такую антенну удалось разместить рядом с морской поверхностью или над морской поверхностью, то ее радиация была поглощена уже в тонком слое морской среде. Тем более такую антенну нельзя поместить в морскую среду в силу невозможности существования «токов смещения» в проводящей среде. Только за счет существования в «ближней зоне» у ЛМА магнитной «азимутальной» составляющей \vec{H}_{θ} , и магнитной «радиальной» составляющей \vec{H}_{ρ} , и особенно первой, становится возможным использовать ЛМА в качестве передающей электромагнитные волны на указанных частотах в морских глубинах и в недрах земли. А в силу их относительно малых (не превышающих 10-15 м даже для очень больших мощностей излучения) габаритов - на подвижных объектах в воздушном пространстве, в морской глубине или под толщей льда.

Формула изобретения

1. Передающая линейная магнитная антенна, характеризующаяся тем, что содержит:

а) ферромагнитный магнитопровод, состоящий из множества ферритовых чашечек, установленных впритык, каждая из которых имеет внутреннее отверстие для образования сквозного центрального осевого канала ферромагнитного магнитопровода;

б) внутри сквозного центрального осевого канала ферромагнитного магнитопровода расположен кабель постоянного «управляющего» тока I_0 ;

в) диэлектрическую оболочку, охватывающую внешнюю поверхность

ферромагнитного магнитопровода по всей его длине;

г) «внешний» соленоид с однослойной спиральной обмоткой, представляющей собой плоский, по меньшей мере, двухжильный кабель, в котором жилы уложены параллельно, при этом каждая жила размещена в изоляционной оболочке.

5 2. Передающая линейная магнитная антенна по п.1, характеризующаяся тем, что дополнительно содержит внешний конденсатор или группу внешних конденсаторов.

3. Передающая линейная магнитная антенна по п.2, характеризующаяся тем, что внешний конденсатор выполнен или группа внешних конденсаторов выполнена с
10 возможностью образования для каждой жилы отдельного последовательного резонансного антенного контура обмотки «внешнего» соленоида.

4. Передающая линейная магнитная антенна по п.1, характеризующаяся тем, что ферромагнитный магнитопровод сформирован из ферритовых чашечек РМ-типа.

15 5. Передающая линейная магнитная антенна по п.4, характеризующаяся тем, что внутри каждой ферритовой чашечки РМ-типа размещена однослойная спиральная «внутренняя» обмотка.

6. Передающая линейная магнитная антенна по п.5, характеризующаяся тем, что соединение однослойных спиральных «внутренних» обмоток между собой образует
20 «внутренний» соленоид.

7. Передающая линейная магнитная антенна по п.6, характеризующаяся тем, что «внутренний» соленоид выполнен с возможностью образования последовательного резонансного контура «внутреннего» соленоида при наличии внешнего конденсатора или группы внешних конденсаторов.

25 8. Передающая линейная магнитная антенна по п.1, характеризующаяся тем, что ферромагнитный магнитопровод сформирован из ферритовых чашечек Р-типа.

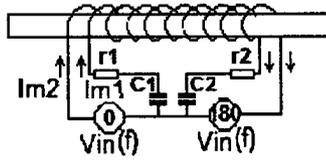
9. Передающая линейная магнитная антенна по п.1, характеризующаяся тем, что содержит одновитковую петлю, выполненную из коаксиального кабеля и плотно обволакивающую поверхность обмотки «внешнего соленоида» в его центральной
30 части.

35

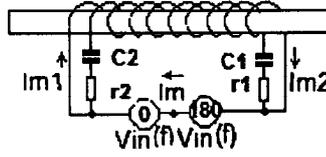
40

45

50

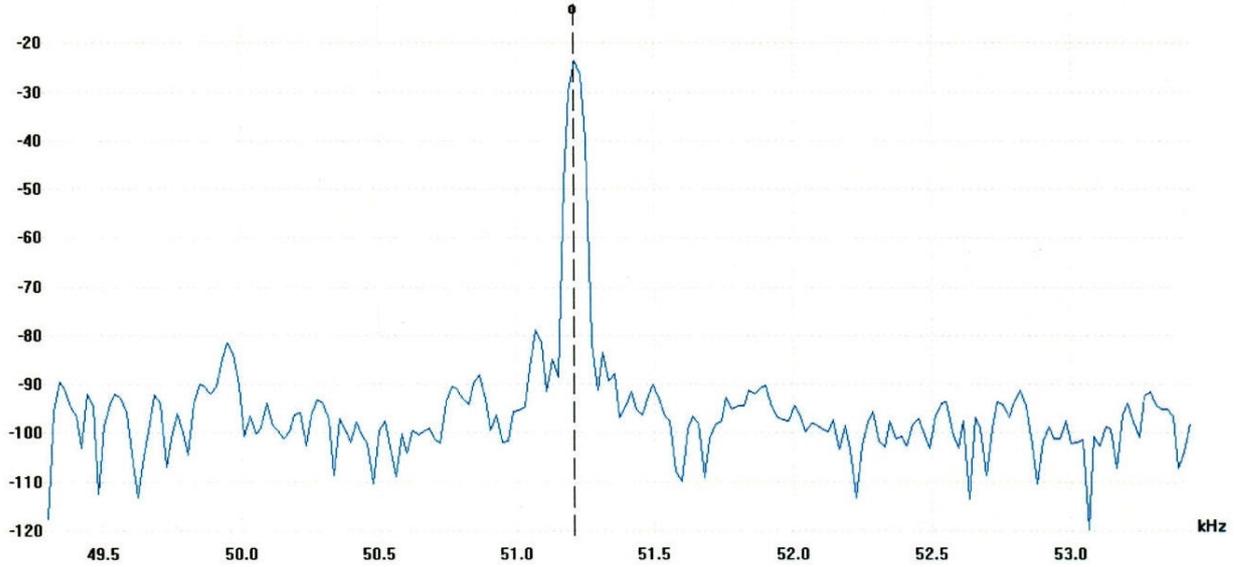


Фиг. 2



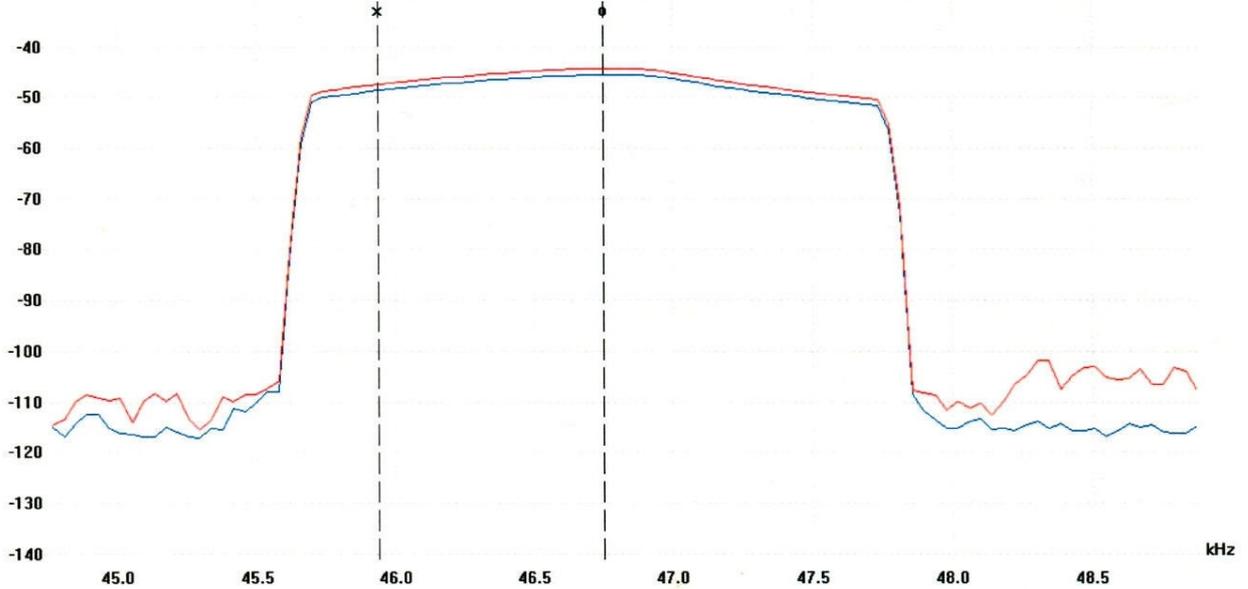
Фиг. 3

$\omega = 51.21 \text{ kHz}$, $A = -23.64 \text{ dB}$

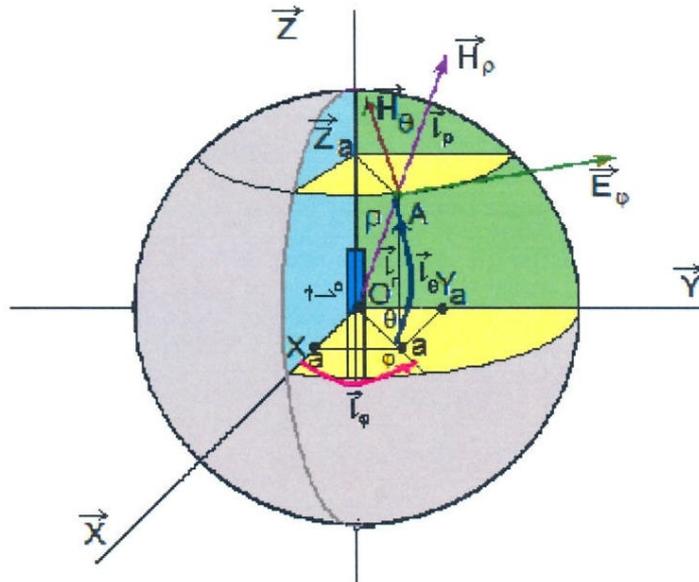


Фиг. 4

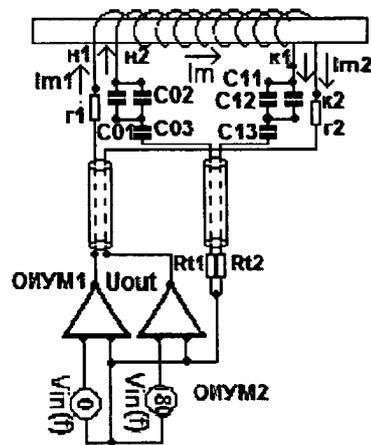
$\omega = 46.76 \text{ kHz}$, $A = -45.46 \text{ dB}$, $B = -44.28 \text{ dB}$ $\omega = 45.95 \text{ kHz}$, $A = -48.62 \text{ dB}$, $B = -47.42 \text{ dB}$



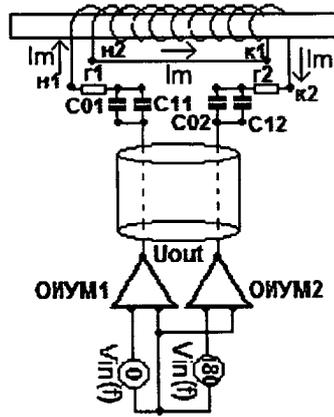
Фиг. 5



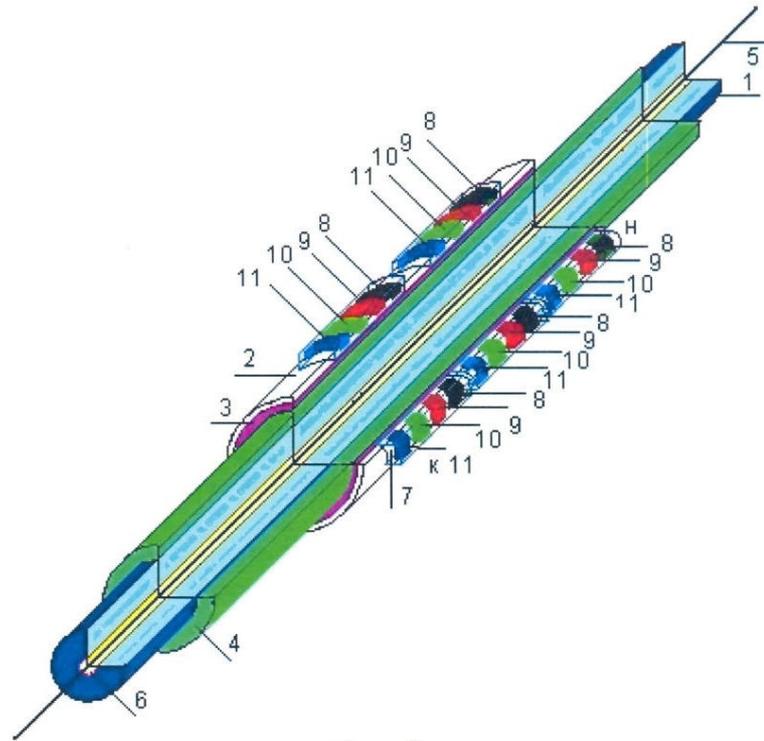
Фиг. 6



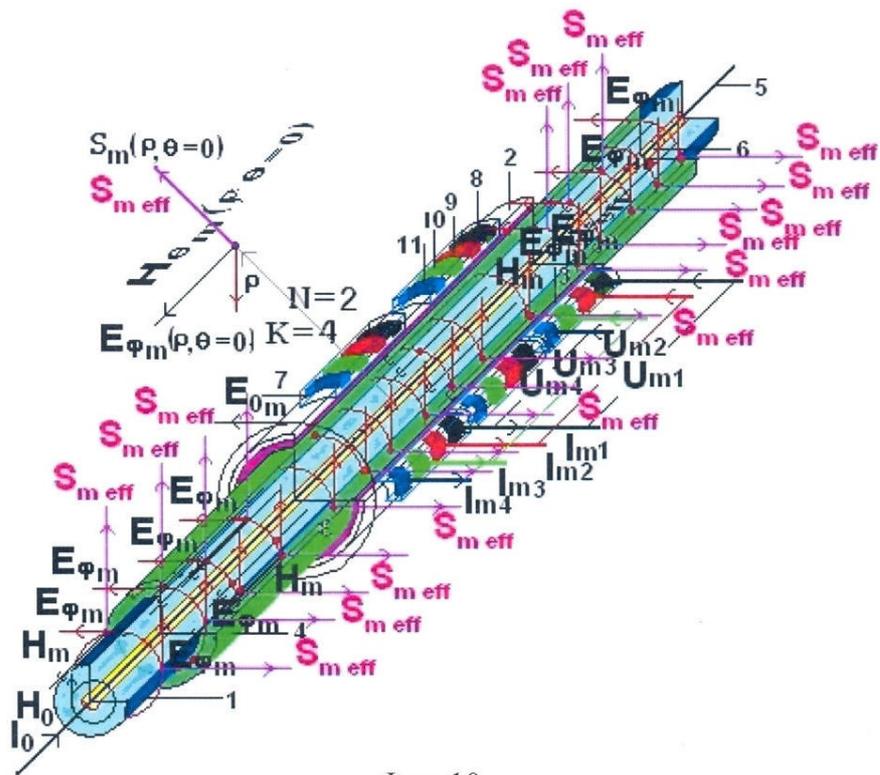
Фиг. 7



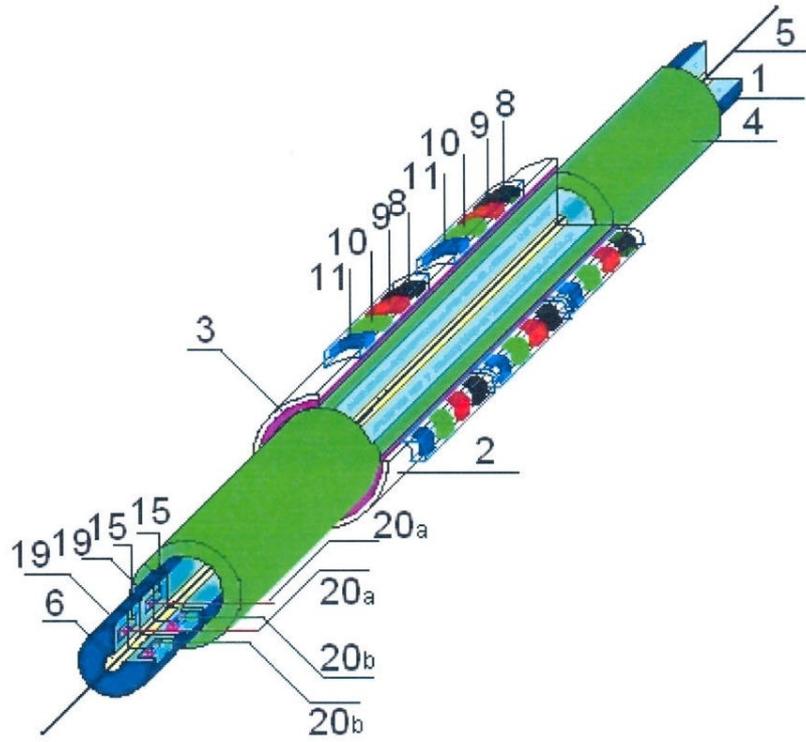
Фиг. 8



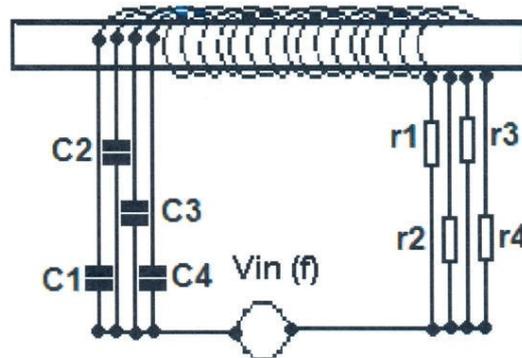
Фиг. 9



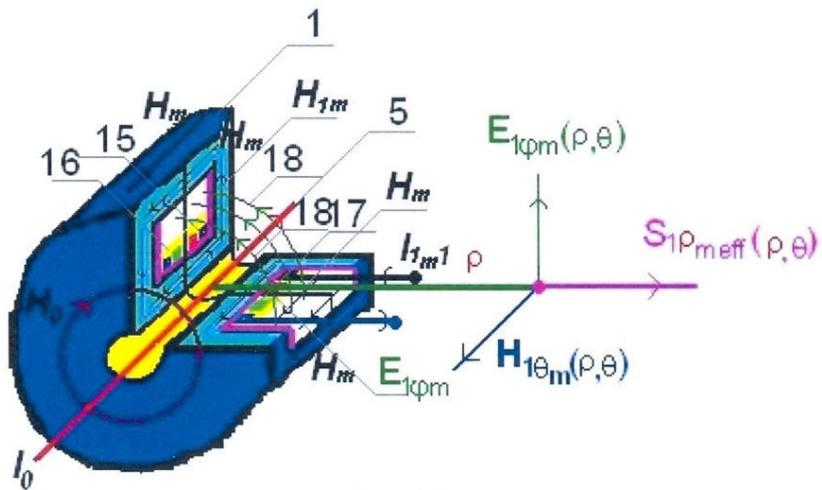
Фиг. 10



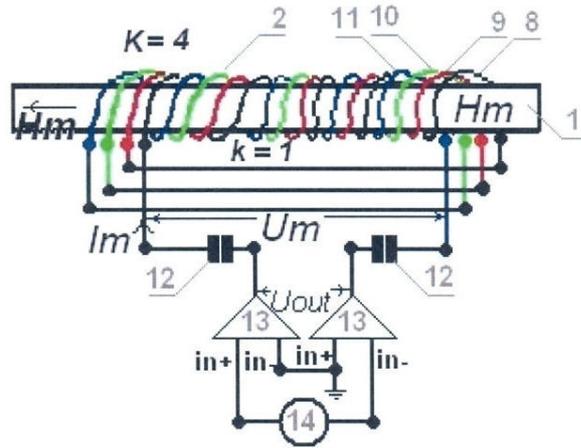
Фиг. 11



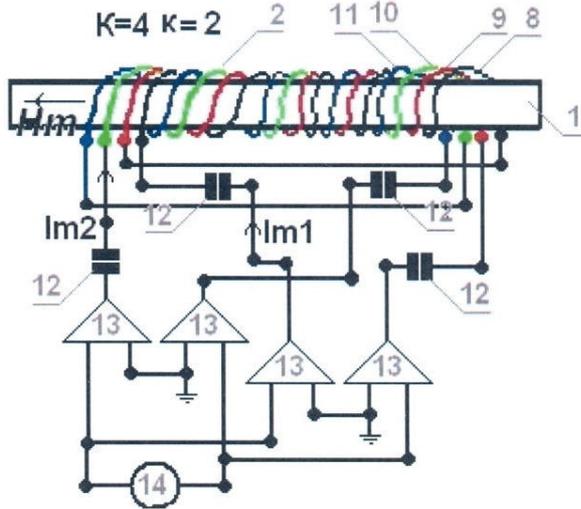
Фиг. 12



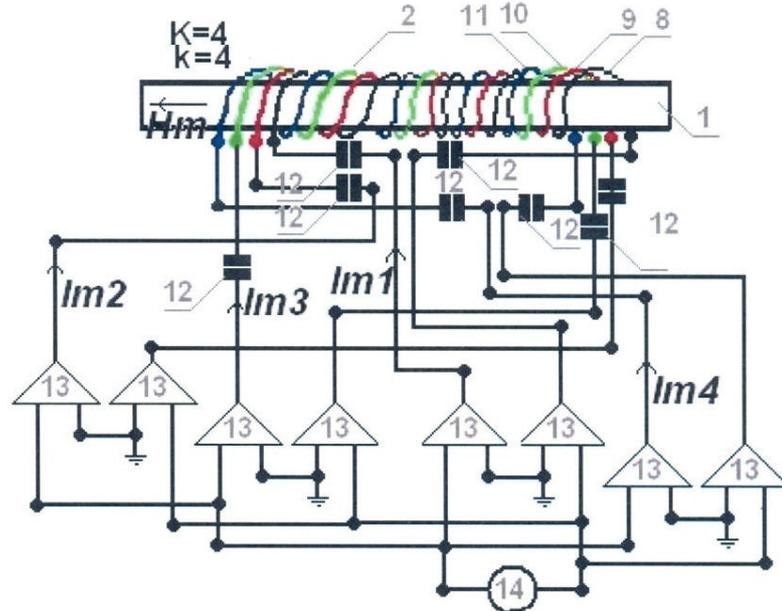
Фиг. 13



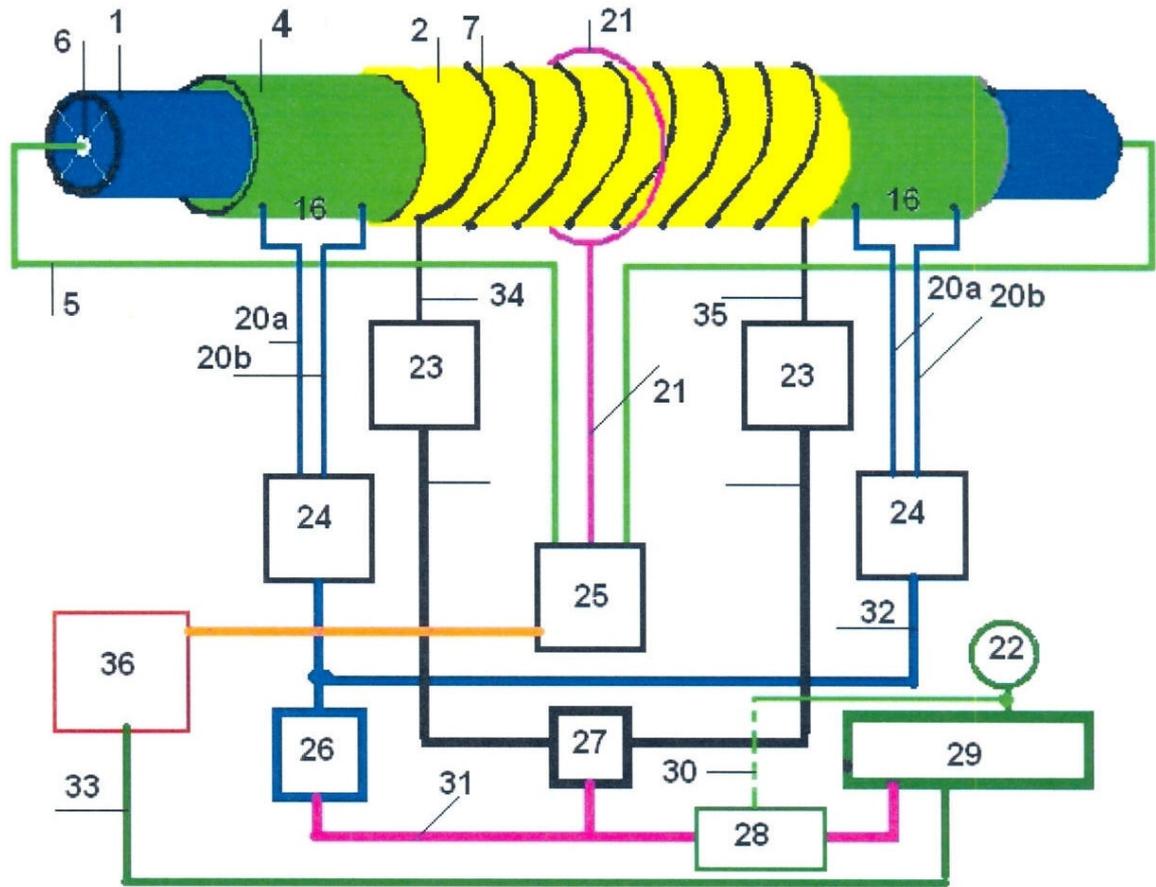
Фиг. 14



Фиг. 15



Фиг. 16



Фиг. 17