

Передающая линейная магнитная антенна для ВЧ диапазона (часть 4)

Ляско Арий Борисович
Радиоинженер,
канд. физ.-мат. наук, Ph.D.
E-mail: lyasko.ariy@mail.ru

1. Модель выполнена в соответствии с содержанием текста Описания предполагаемого Изобретения по для патентования в РФ «Линейная магнитная антенна для ВЧ диапазона» [1]. Внешний вид тела ВЧ представлен на **Фото.1** без внешней герметичной оболочки, а на **Фото.2** — в герметичной оболочке. Внешний диаметр её оболочки не при длине порядка , Она состоит из медного **5 мм** стержня длиной порядка , с резьбой на его концах на который надет по все его длине диэлектрический диаметра порядка цилиндр, по верх которого надет из магнита-диэлектрического (ферритового) материала цилиндрической формы магнитопровод с внутренним диаметром порядка и с внешним диаметром порядка и длиной порядка Поверх него надет диэлектрический цилиндрической формы каркас однослойной обмотки Соленоида продольного магнитного поля «Возбуждения» с внешним диаметром порядка



Фото.1

2. Однослойная обмотка Соленоида «Возбуждения» длиной порядка при внешнем диаметре состоит из витков плоской «шины», состоящей из уложенных плотно друг к другу диаметра **7** гибких изолированных сечением медных многожильных проводников, концы которых соединены параллельно. На частоте её индуктивность . Индуктивность, измеренная на концах проводящего медного стержня (**п.1**) Тогда как без магнитопровода обмотка Соленоида «Возбуждения» на частоте обладает индуктивностью.

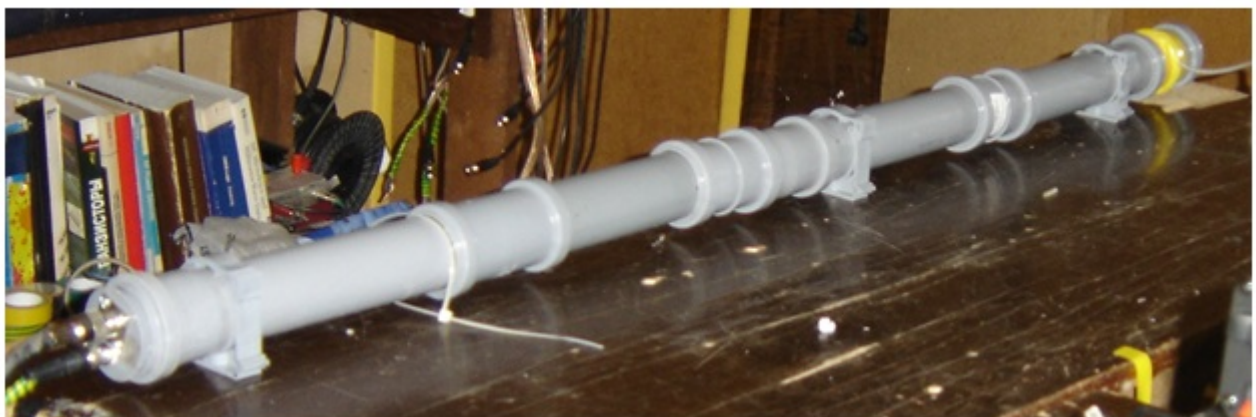


Фото.2.

3. Индуктивность измеренная на частоте между концах проводов, представленных в нижней части **Фото.1**, являющейся суммарной индуктивностью последовательного соединения индуктивностей

Между этими двумя её составляющими индуктивностями, как показали вычисления коэффициент связи . Таким образом, между ними существует «обратная связь» и такое последовательное их соединения является (по магнитному потоку в теле магнитопровода) «ортогональным» и «не согласованным».

4. Для данной модели на частоте эффективное значение магнитной проницаемости материала её магнитопровода.

5. На одном торце внешней оболочки **Фото 2**. можно видеть два ВЧ разъёма, — один из которых большего диаметра рассчитан на подсоединение к нему силового ВЧ коаксиального кабеля (типа) , обеспечивающего необходимые величины антенный обтекающий обмотку Соленоида «Возбуждения», создающий в магнитопровode на частоты магнитный поток в продольной плоскости, а протекая по проводящему медному стержню, он в теле магнитопровода создает когерентный частоты f замкнутый магнитный поток в поперечной плоскости. Второй меньшего диаметра ВЧ «изолированного от корпуса» разъём типа для подсоединения коаксиального кабеля типа предназначенного для мониторинга величины тока путём измерения падения ВЧ напряжения на калиброванном сопротивлении включённого последовательно с не подсоединённым к концу проводящего медного стержня концом обмотки Соленоида «Возбуждения. Вокруг внешней оболочки в близи другого конца (на **Фото.2** это место, обмотанное жёлтого цвета изоляционной лентой, можно видеть справа) расположена , образованная из отрезка коаксиального кабеля. типа конце которого имеется разъёмом типа .

6. В лаборатории была проведена предварительная оценка возможного использования этой модели в качестве резонансной приёмно-передающей антенны в третьем ВЧ любительском диапазоне (). Подсоединённый к разъёму одновитковой «петли обратной связи» типа кабель был подведён к первому каналу

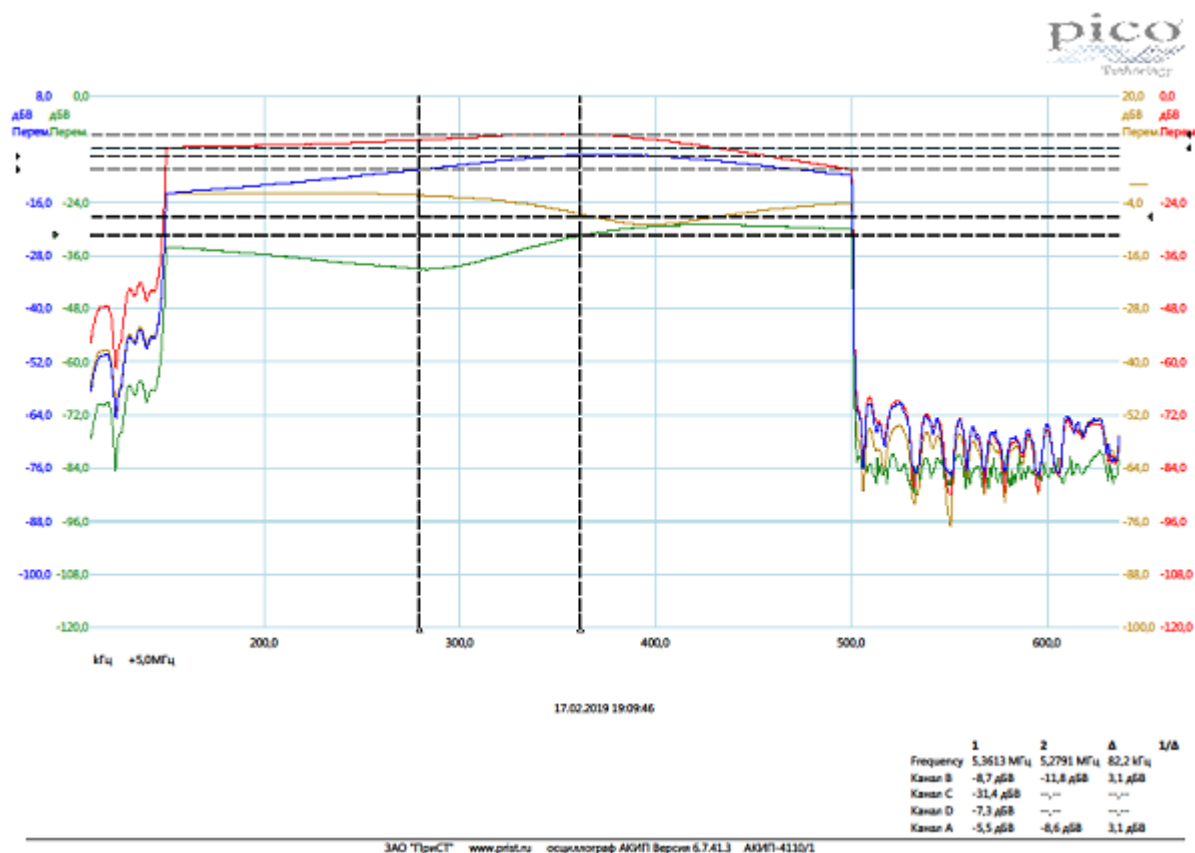
От разъёмом типа на торце внешней оболочки типа кабель был подсоединён к входу второго канала измерителя



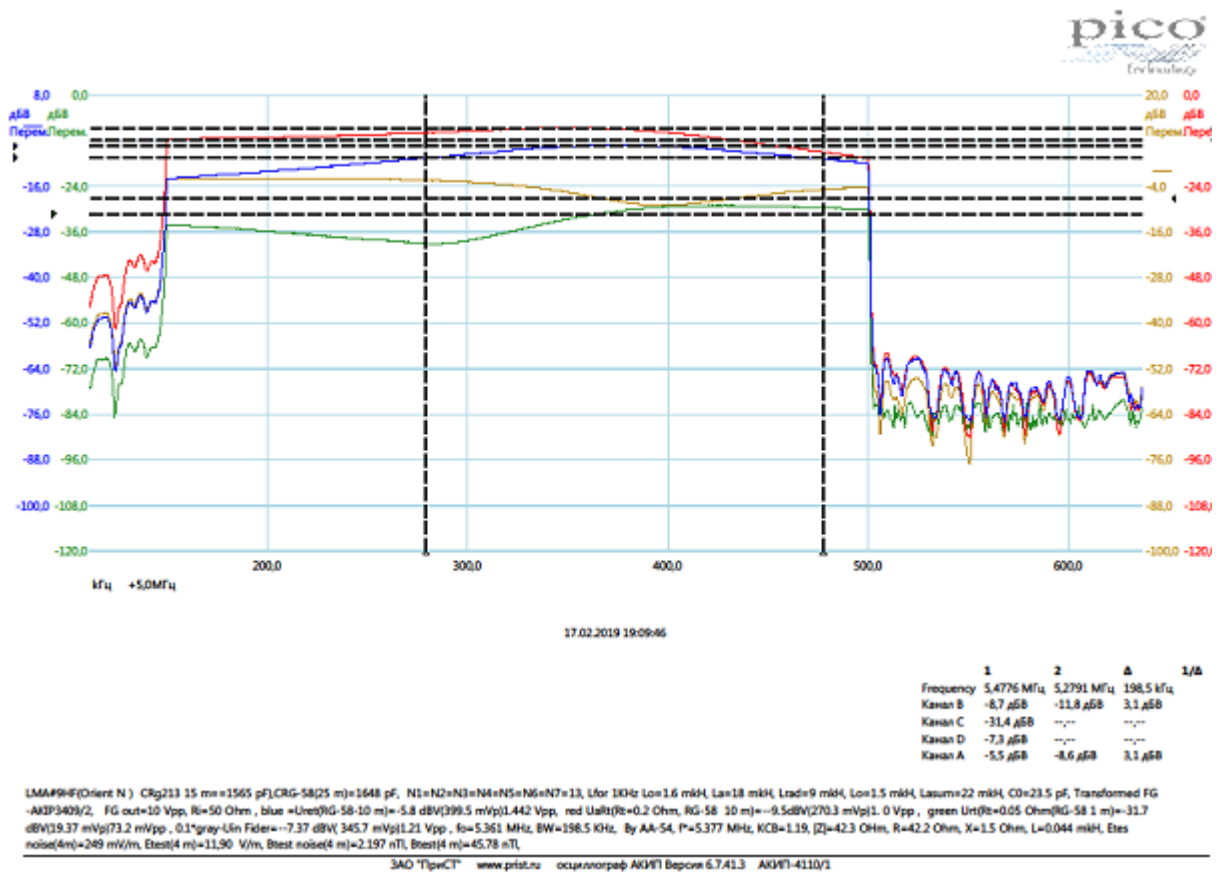
Фото.3

К упомянутого большего диаметра ВЧ разъёма на торце внешней оболочки подсоединялся силовой коаксиальный кабель типа (), выходной конец которого поступал на входной разъём специально разработанной Измерительной коробки (ИК), и с её одного из выходных разъёмов типа .типа по кабелю типа поступал на выходной разъём передняя панель которого изображена на Фото.3

7. Ниже на Фиг.1 — Фиг.4. представлены графики АЧХ и Спектральной плотности и временной характеристики на несущей (без модуляции) частоте ВЧ сигналов в контрольных точках режима работы данной . Второй выходной разъём типа по кабелю типа поступал на вход третьего канала измерителя для мониторинга тока поступающего в силовой кабель типа для измерения падения напряжения

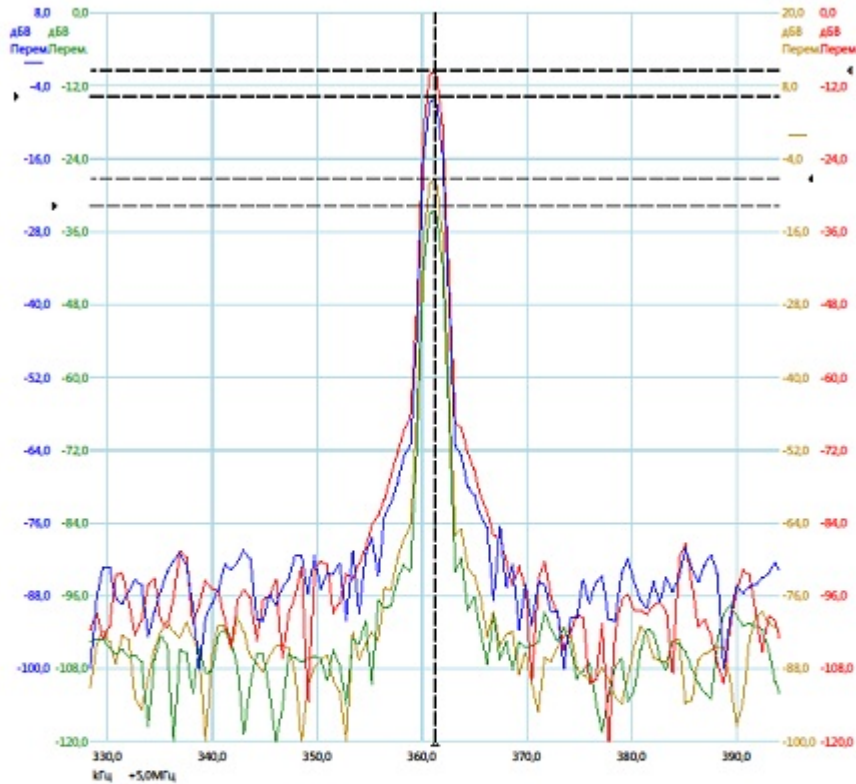


Фиг.1



Фиг.2

U_{rt}(R_t=0.05 Ом) на калиброванном сопротивлении включённом последовательно в цепи протекания тока внутри . Через тройник к упомянутому входному разъёму бы подсоединён в положении уменьшения поступающего напряжения в , подсоединённый к входу четвёртого канала измерителя для регистрации ВЧ напряжения на входе силового кабеля типа



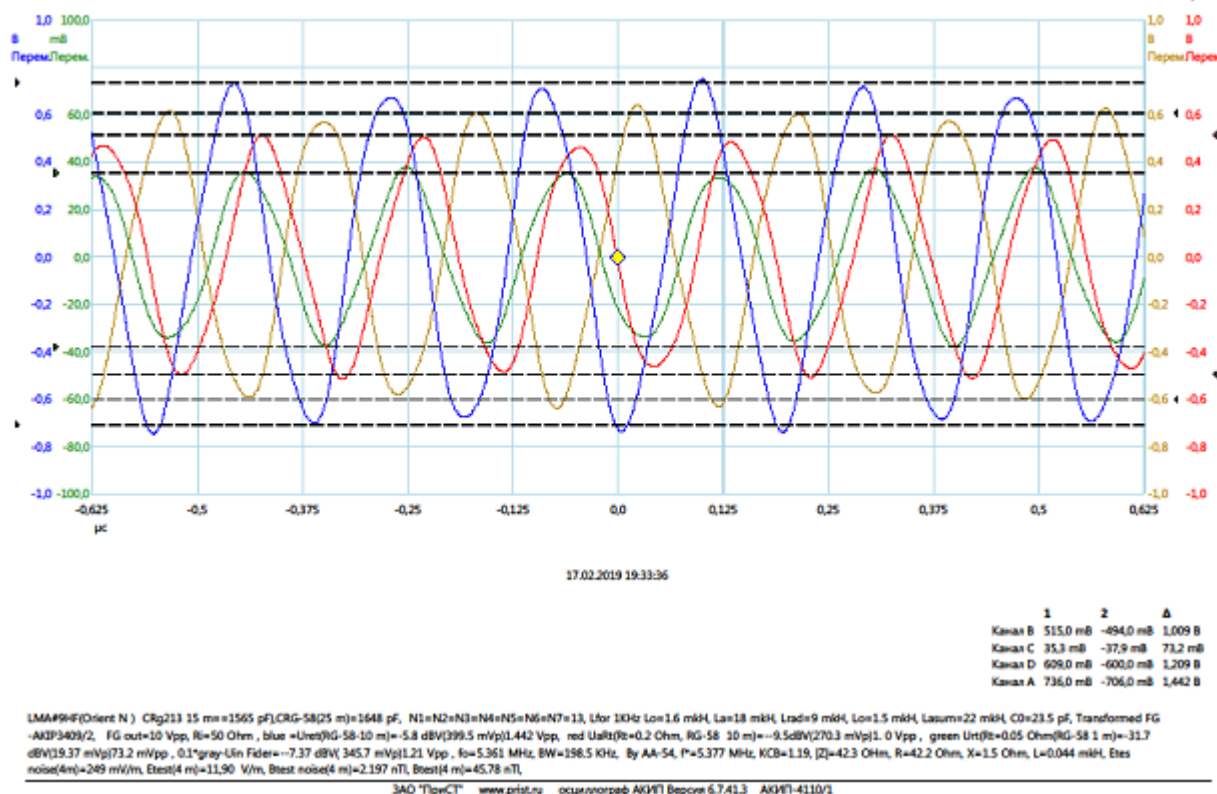
17.02.2019 19:40:28

Канал	Название	Диагност	Значение	Мин.	Макс.	Среднее	σ	1	2	Δ	1/8
A	Amplitude at...	По пиксу	-6,046 dBm	-6,081 dBm	-6,043 dBm	-6,059 dBm	10,8E-3 dBm	Frequency	5,3613 MHz		
A	Average Am...	По пиксу	402,5 mV	400,8 mV	402,6 mV	401,9 mV	508,1 μ V	Канал B	-9,5 dBm		
B	Amplitude at...	По пиксу	-9,496 dBm	-9,519 dBm	-9,49 dBm	-9,505 dBm	8,109E-3 dBm	Канал C	-31,7 dBm		
B	Average Am...	По пиксу	270,5 mV	269,8 mV	270,7 mV	270,3 mV	242,6 μ V	Канал D	-7,3 dBm		
C	Amplitude at...	По пиксу	-32,39 dBm	-32,43 dBm	-32,39 dBm	-32,41 dBm	18,57E-3 dBm	Канал A	-5,8 dBm		
C	Average Am...	По пиксу	19,38 mV	19,3 mV	19,39 mV	19,34 mV	29,36 μ V				
D	Amplitude at...	По пиксу	-7,34 dBm	-7,342 dBm	-7,336 dBm	-7,339 dBm	2,884E-3 dBm				
D	Average Am...	По пиксу	346,8 mV	346,7 mV	346,9 mV	346,8 mV	91,49 μ V				
D	Total Power	Кривая пом...	438,6 mW	438,5 mW	438,8 mW	438,7 mW	45,03 μ W				

LMA#9HF(Orient N) CRG213 15 m+-1565 pF;CRG-58(25 m)-1648 pF, N1=N2=N3=N4=N5=N6=N7=13, Lfor 10kHz Lo=1.6 mH, La=18 mH, Lrad=9 mH, Lo=1.5 mH, Lascu=22 mH, CD=23.5 pF, Transformed FG -AMP9499/2, FG out=10 Vpp, Ri=50 Ohm, blue =Uin(RG-58-10 m)-5.8 dBV(399.5 mVpp)1.442 Vpp, red Uin(Ri=0.2 Ohm, RG-58 10 m)-9.5dBV(270.3 mVpp)1.0 Vpp, green Uin(Ri=0.05 Ohm(RG-58 1 m)-31.7 dBV(19.37 mVpp)73.2 mVpp, 0.1*gray-Uin Fider=-7.37 dBV(345.7 mVpp)1.21 Vpp, fo=5.361 MHz, BW=198.5 kHz, By AA-54, P=5.377 MHz, KCB=1.19, (Z)=42.3 Ohm, R=42.2 Ohm, X=1.5 Ohm, L=0.044 mH, Etes noise(4m)=249 mV/m, Etest(4 m)=11.90 V/m, Btest noise(4 m)=2.197 nT, Btest(4 m)=45.78 nT.

ЗАО "ПривСТ" www.prist.ru осциллограф АКМП Версия 6.7413 АКМП-4110/1

Фиг.3



Фиг.4

8. Нижней текстовой их части Примечаний автором приведены исходные, измеренные и рассчитанные с их помощью значения параметров данной модели в данном эксперименте:

- а) На выходе был установлен уровень выходного моно гармонического сигнала при выходном сопротивлении ;
- б) График синего цвета- ВЧ сигнал «обратной связи» первого канала позволяющий произвести оценку величины протекаемого через данное сечение магнитного потока в окружающее пространство.
- в) График красного цвета — ВЧ сигнал второго канала падение напряжения на калиброванном сопротивлении включённого последовательно с отрицательным электродом ВЧ «изолированного от корпуса» разъёма на упомянутом входном разъёме ИК, к которому подсоединялся конец силового кабеля типа с использованием стандартного переходника для подсоединения к разъёму типа .
- г) График зелёного цвета — ВЧ сигнал третьего канала —
- д) График серого цвета — ВЧ сигнал четвёртого канала напряжение , поданное на вход коаксиального кабеля типа идущего к разъёму большего диаметра на торцевой части внешней оболочки Модели .

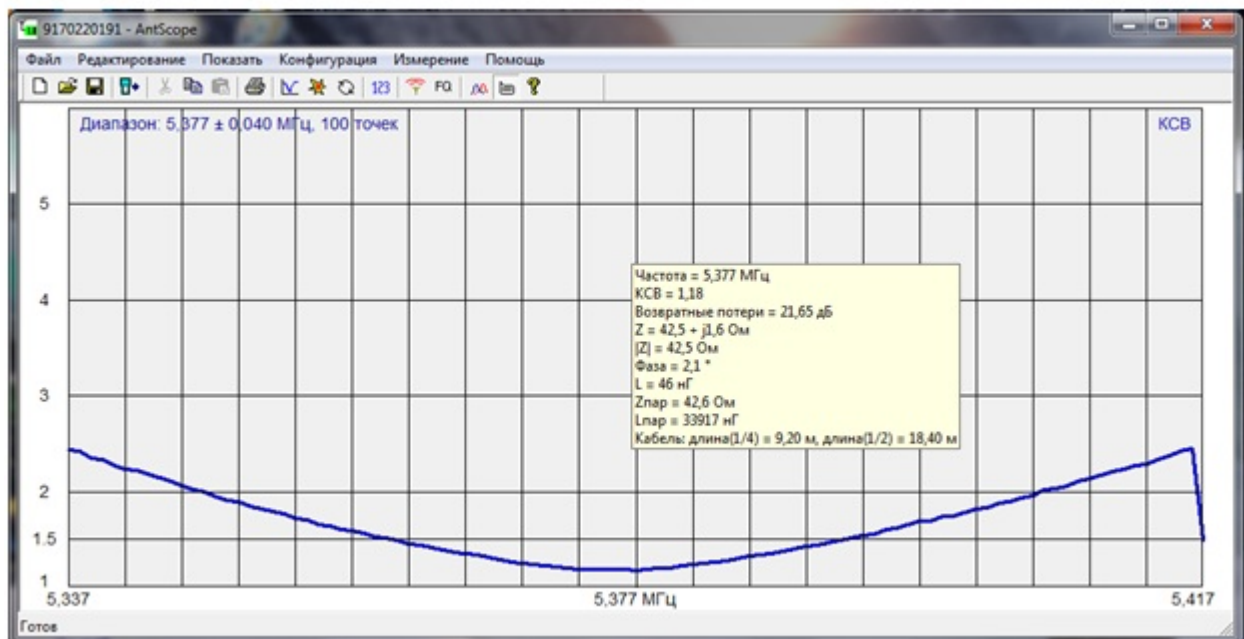
9. На основании Фиг.1 и Фиг.2, принимая во внимание кривую синего цвета, на уровне Полоса пропускания данной модели при использовании Резонансного конденсатора внутри корпуса Модели при данной длине и типе коаксиальных кабелей:

- а) при частоте резонанса контура антенного тока что соответствует третьему ВЧ Любительскому диапазону, на котором предполагается использование этой модели.
- б) расчёт показывает, что на частоте Добротность .

Волновое сопротивление , эквивалентное активное сопротивление
 Значение Добротности означает, что напряжение на резонансном конденсаторе ,
 так же как и на Индуктивности Модели будет во столько же раз выше в момент
 резонанс в резонансном антенном контуре тока , чем напряжение, поступившее от источника ВЧ
 питания током через силовой фидер на разъем большого диаметра торца внешней оболочки данной
 модели (см. **Фото.2**)

10. Естественно, что соединённые между измерительной аппаратурой и источником ВЧ
 мощности фидеры при заданном значении Резонансного конденсатора вносят свой вклад
 в общий импеданс (антенного тока тракта, что требует анализа этого тракта на удачное
 согласования с импедансом фидера и выходным импедансом источника подводимой ВЧ мощности
 ().

Используя для определения основных
 характеристик антенного токового контура модели , подключением к концу
 коаксиального кабеля, идущего на выход был получен результат измерения, представленный
 на **Фиг.5**. Из которого следует, что произведённая оценка



Фиг.5

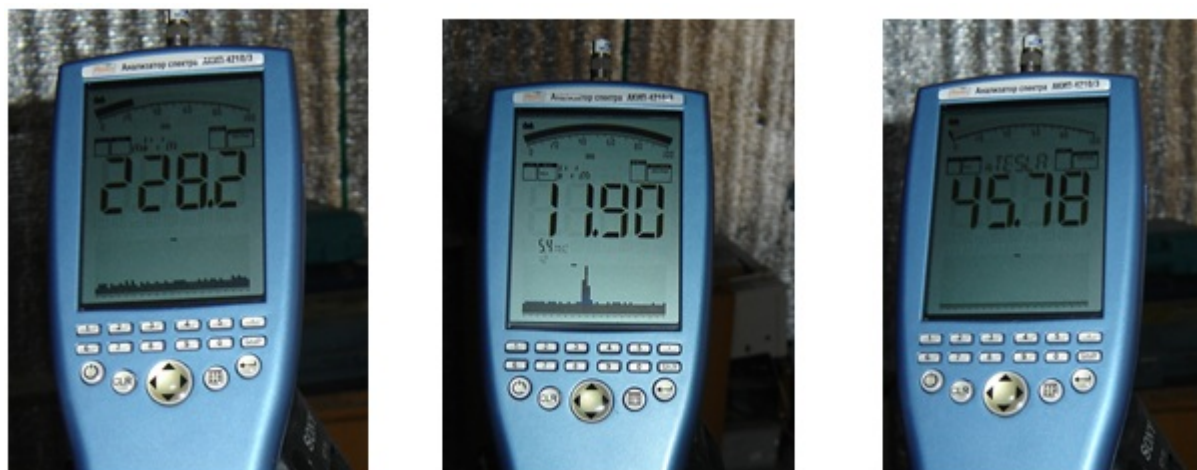


Фото.4, Фото.5, Фото.6

11. Одновременно на расстоянии от места установки модели измерялись с помощью в момент отсутствия и подачи на данную модель выходного сигнала с

Фон уровня напряжённости электрического поля составил величину изображено на **Фото.4**, тогда как при подаче выходного напряжения с в упомянутой силовой кабель (изображено на **Фото.5** Фон уровня напряжённости магнитного поля, тогда как при подаче выходного сигнала с в силовую кабель (изображено на **Фото.6**).

Данный обладает при и выходном сопротивлении ;
максимальным значением мощности

Тогда как типовые ВЧ трансиверы, например такие, как или обладают значением выходной мощности от при всех видах модуляции за исключением Амплитудной (), когда максимальная выходная их мощность не выше, и возможностью обеспечения антенны величиной которая не превышает при значения её активного эквивалентного последовательного выходного сопротивления в пределах в режиме трансмиссии. При этом трансивер имеет встроенное согласующее Импеданс устройство, тогда как Трансивер предполагает использование для внешнего согласующего устройства типа. Нужно отметить, что в Трансивере в отличие от Трансивера (

12. В предыдущей своей статье [6] относительно теста Модели во Втором ВЧ Любительском диапазоне была на **Фото.11** изображена, стоящая на втором Модель установленная вместо приема — передающей пассивной Модели предназначенная для использования лишь в Третьем ВЧ Любительском диапазоне, в отличие от Модели и Модели. В связи с этим обстоятельством появилась возможность провести сравнение эффективности использования Модели установленной вместо в лабораторном помещении в качестве приёмной пассивной антенны на дистанции приблизительно от места установки на Модели во время её излучения по уровню принятого сигнала в сравнении с уровнем сигнала, зарегистрированного, расположенной рядом с Моделью на **Фото.7**. На **Фиг.6** представлена временная форма сигналов зарегистрированных Моделью (кривая синего цвета первого канала) и (кривая красного цвета второго канала) при помощи корпус серого цвета которого можно видеть справа внизу на **Фото.7**. На **Фиг. 7** представлена их спектральная плотность.

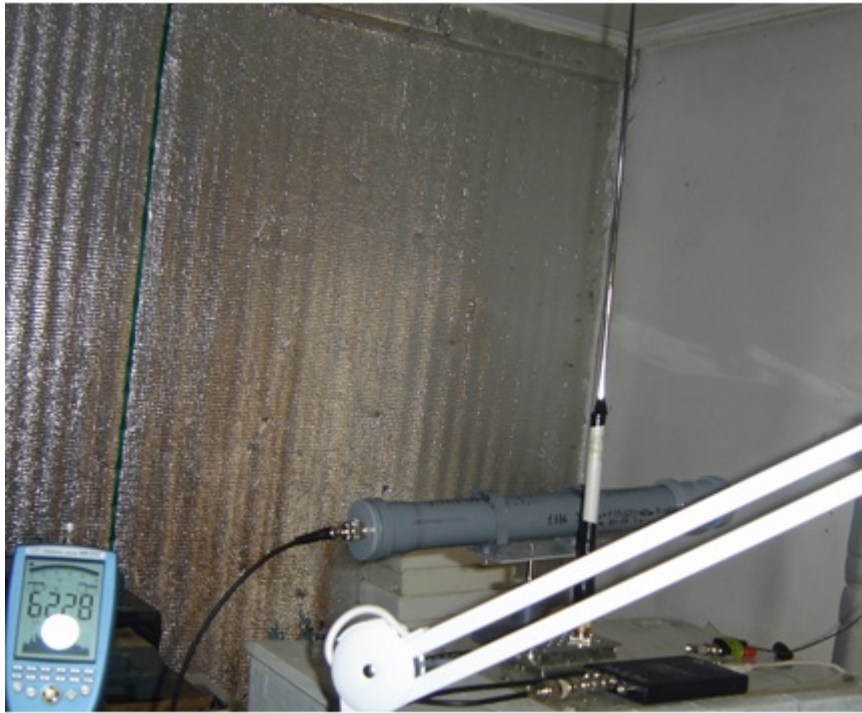
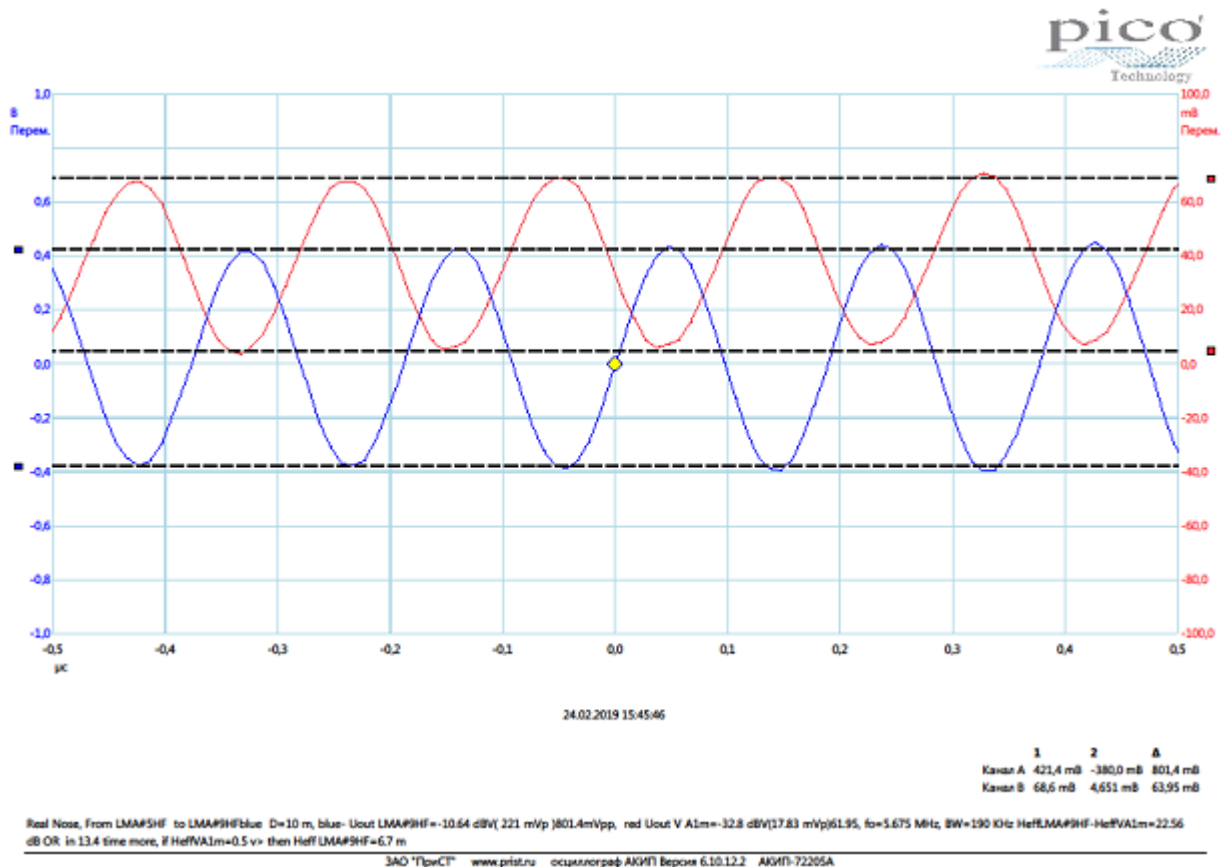


Фото.7

В справочной литературе утверждается [7, на стр.276 в Таблице: строка 5 столбец 6)], что «короткий вибратор на идеально проводящей земле» обладает «Действующей высотой» равной половине его высоты. Поэтому чисто условно, если предположить, что вертикальная штыревая телескопическая антенна длиной 1 м обладает , то на частоте обладает величиной эффективной высоты

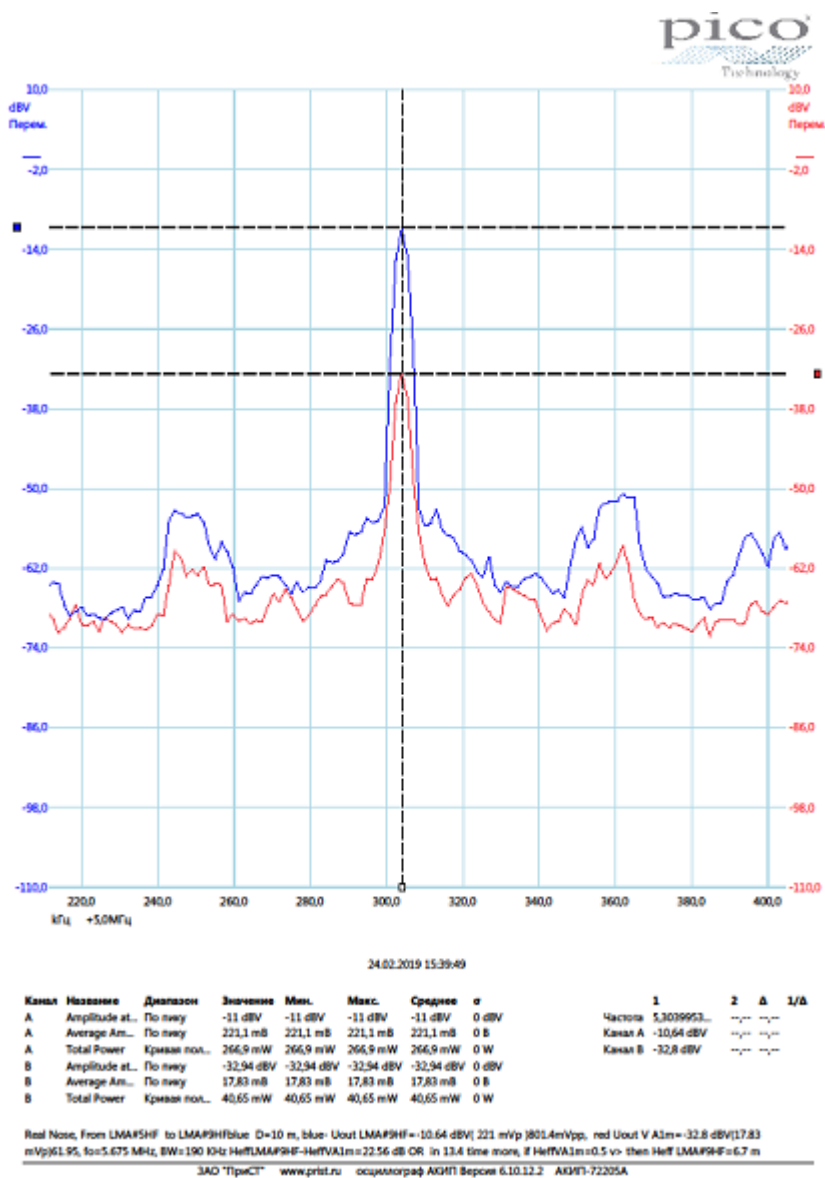
7 м



Фиг.6

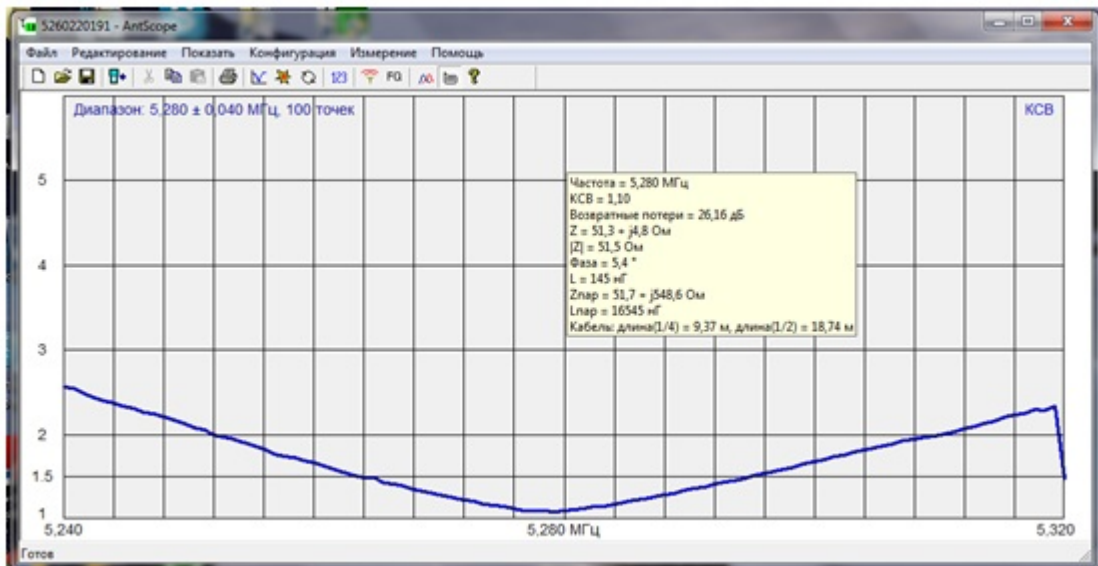


Фото.8

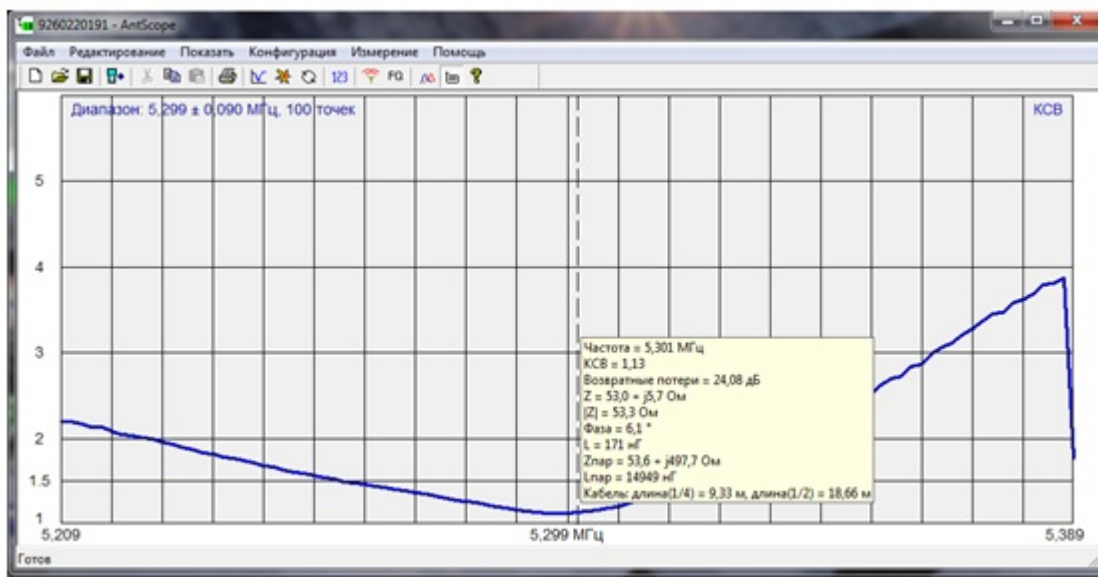


Фиг.7

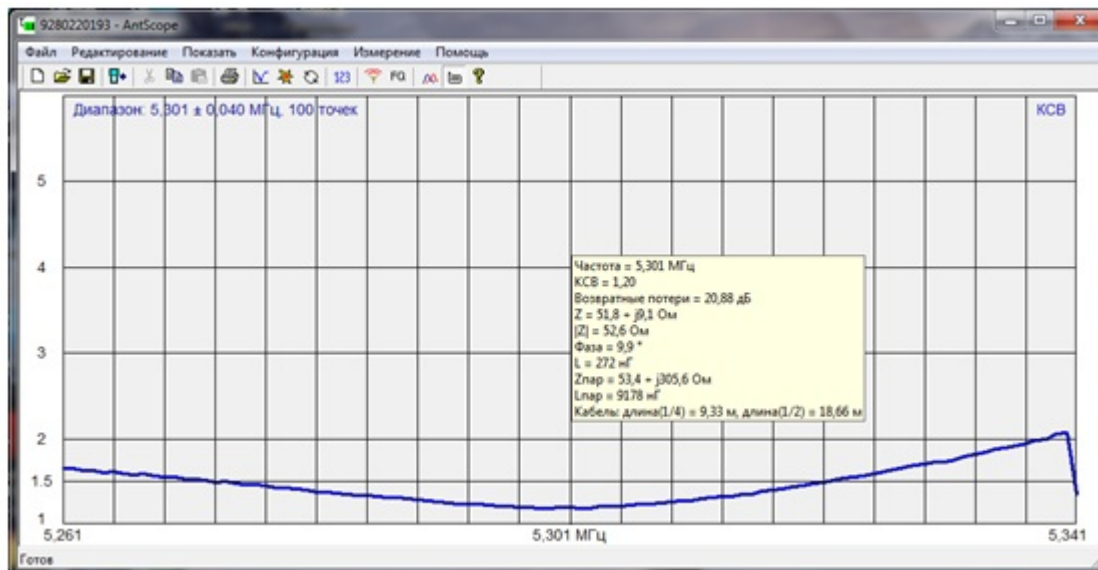
на вместо , предназначенной только для использования во , была установлена впереди которая, как можно видеть на Фото.8 размещена на другом позади и параллельно Они обе предназначенные для



Фиг.8

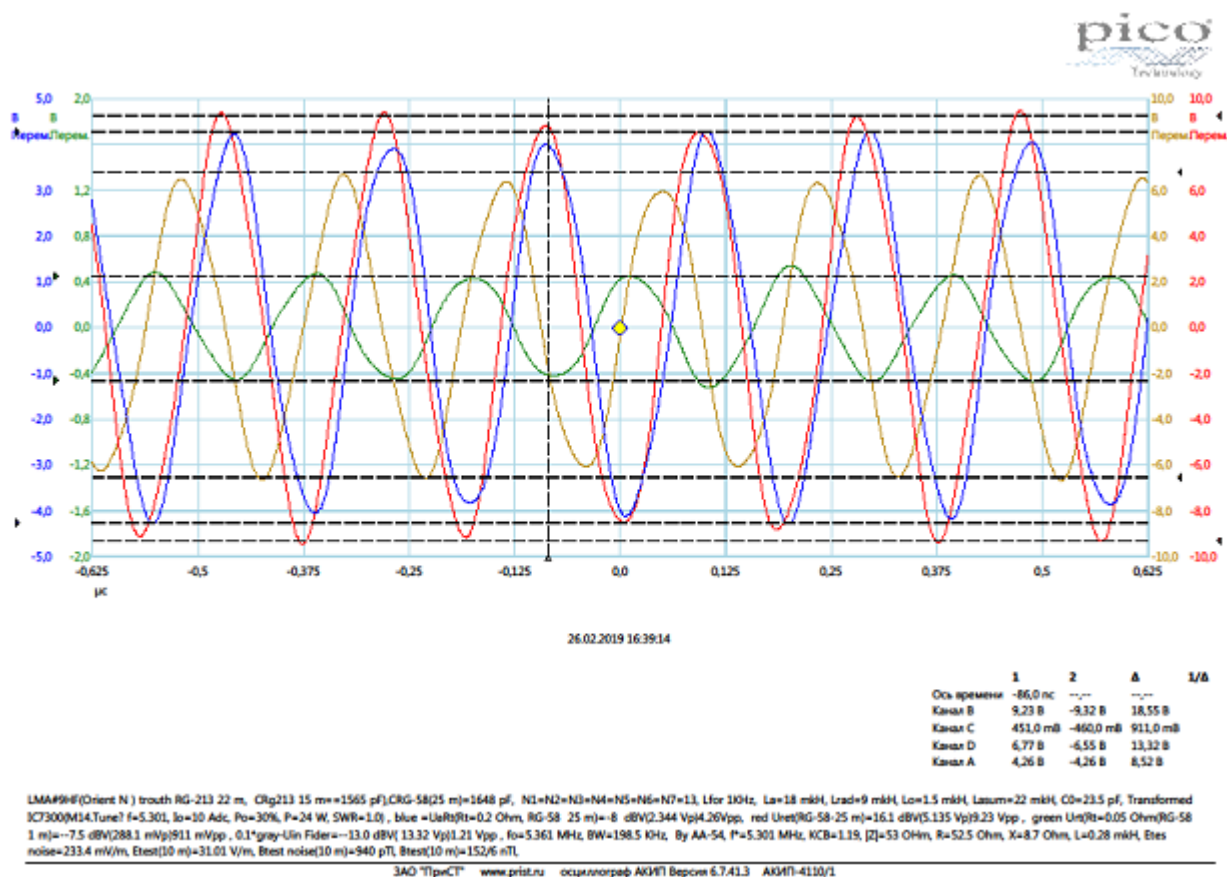


Фиг.9



Фиг.10

использования только в После установки утром вне помещения лаборатории Модели на через несколько часов для её адаптации перед тем в лаборатории, как выходной разъём ведущего от торца внешней герметичной оболочки силового коаксиального кабеля типа подсоединить к выходу ФГ, с помощью Измерителя проводилось измерение частотной характеристики (параметра , представленной на **Фиг.8**. На следующие день результат измерение на конце этого кабеля представлен на **Фиг.9**. Как можно видеть влияние изменившихся внешних факторов привело к некоторому смещению частоты минимального значения . Так же была снята Антенного тракта (его основные параметры представленные на **Фиг.10**) перед проведением теста основных характеристик Модели в рабочих точках режима её работы. Результат этих исследований представлен кривыми **Фиг.11** и **Фиг.12**,

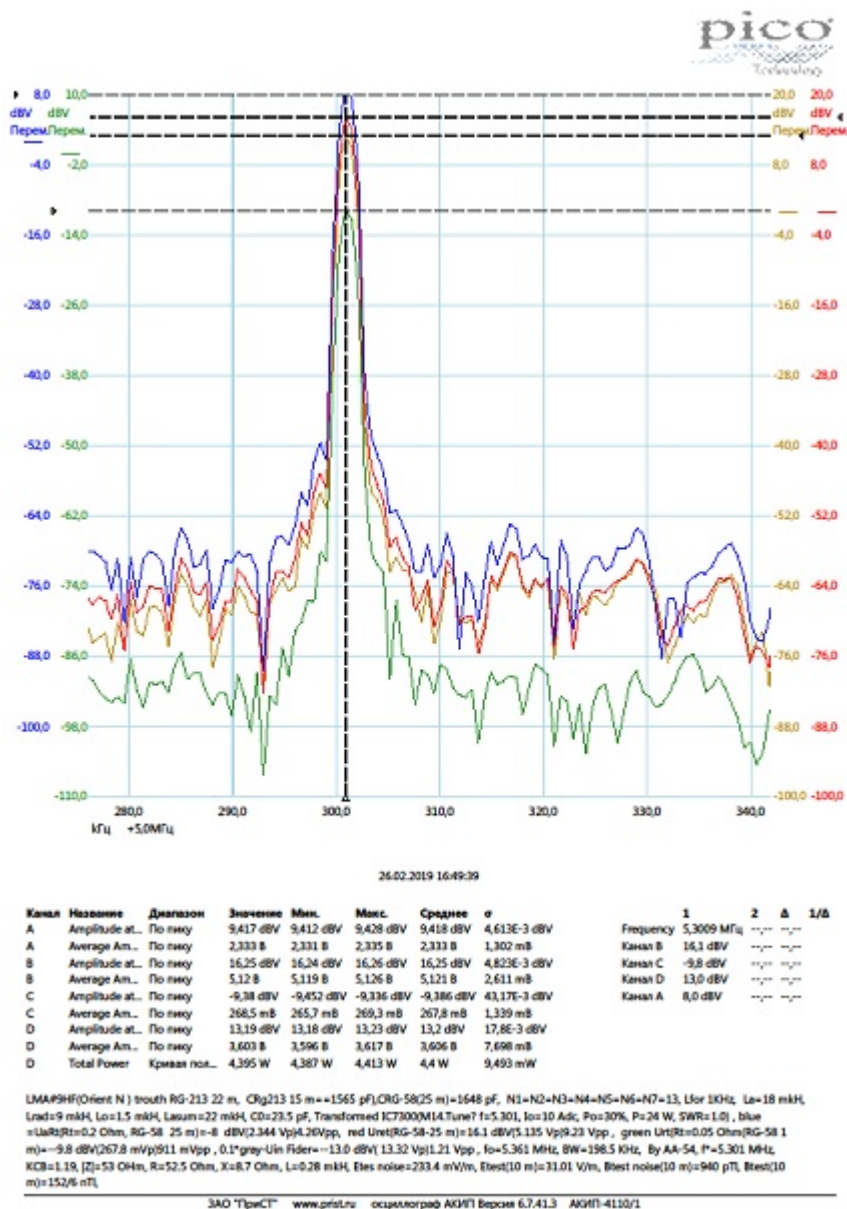


Фиг.11

Контрольными точками режима работы моделей автор обычно считает: **а)** — напряжение «обратной связи» на конце коаксиального кабеля, подсоединённого к одновитковой петле, охватывающую поверхность внешней оболочки Модели вблизи одного из её торца; **б)** Падение напряжения и на калиброванных сопротивлениях, находящихся соответственно внутри внешней оболочки и в специальной Измерительной Коробке (); **в)** Напряжение на выходе источника ВЧ мощности, в конечном счёте подаваемое на силовой фидер, идущий в направлении к ВЧ разъёму на торце внешней оболочки ; и др. величины, такие как уровень и уровень в заданном месте лабораторного помещения с помощью Измерителя (см. **Фото.7**).

14. В нижней части **Фиг.11** и **Фиг.12** изображений временных характеристик и Спектральной плотности сигналов в контрольных точках Примечаний приведены исходные параметры и измеренные значения. На основании этих данных можно с помощью **Фиг.11** и **Фиг.12** получить интересующую информацию.

14.1. При эквивалентное значение Индуктивности Волновое Сопротивление . Зная полосу пропускания определяем , и последовательное активное сопротивление во время резонанса. Можно видеть, что расчётная величина близка к значению активной части Импеданса Антенного токового контура показанного в таблице значений **Фиг.10**.



Фиг.12.

14.2 Зная величину Индуктивности обмотки соленоида вне магнитопровода , определяем значение $\mu_{эфф}=25,8$. Зная , можем определить величину тока . Определяем значение напряжённости магнитного поля в магнитопроводе . Зная $\mu_{эфф}=25,8$ определяем Максимальное значение Индукции в теле магнитопровода (на его торцах). Зная расстояние , диаметр обмотки соленоида и значение в трёхмерной системе с учётом, что в одномерной системе это не трудно показать), можно определить из соотношения

$$B_{test}(10) / B_m = \left(\frac{d_c}{D}\right)^x$$

значение величины . Для данной частоты несущей длина волны

Полагая, что закон изменения Индукции обратно пропорционален степени отношения дистанций до расстояния равного , тогда и далее изменение Индукции магнитного поля обратно пропорционально первой степени изменения величины расстояния. При этом Напряжённость магнитного поля мА/м, а Напряжённость Электрического поля

В таких случаях предполагают для расчёта величины Мощности излучения

$$P_{рад} = \frac{4\pi E^2 D^2}{2W_0}$$

Антенны использование формулы . Излученная мощность Моделью

Р . (см. ниже Приложение № 1)



Фото.9.



Фото.10



Фото.11.

14.3 На Фото.9 и Фото.10 представлен вид слева стабилизированного источника питания

(Трансивера постоянного напряжения при максимальном токе до отдаваемого в нагрузку; а справа от него — . На **Фото.10** рядом с ним расположено устройство управления , на котором установлена а выше над ним расположен блок предварительного ВЧ усиления и коммутации типа . На второй полке частично видны корпуса и Выход Трансивера коаксиальным кабелем соединён с выходом измерительной коробки , в которой находится сопротивление , ВЧ вход которой соединён коаксиальным кабелем с входом устройства выход которого в свою очередь коаксиальным кабелем к входу измерителя к входу которого и подсоединён силовой коаксиальный кабель , подсоединяемый к Модели . Вся эта входит в « ».

15.1 В момент трансляции Трансивера отсчёт показаний Измерителей на **Фото.10** свидетельствует, что поступающая в силовой коаксиальный кабель выходная ВЧ мощность и . Ток потребляемый Трансивером составляет На **Фото.11** представлен вид передней панели Трансмиттера Как видим, во

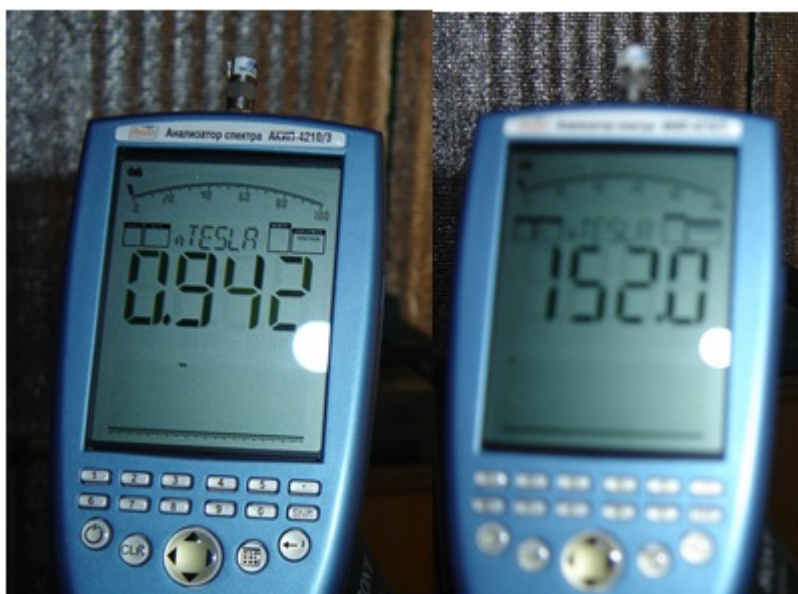


Фото.12, Фото.13

время описанного теста на несущей частоте как это отмечено в текстовой части **Фиг.11** и **Фиг.12** использовался RTTY вид трансмиссии, при этом ВЧ мощность на выходе по его шкале составила чуть меньше , однако измеритель фиксировал на входе силового ВЧ фидера тогда оба показали величину

15.2. По этому можно утверждать, что эффективность излучения модели порядка $\zeta_{\text{рад}} = 15.6 / 20 = 0.78$

15.3. Как отмечалось в текстовой части **Фиг.11** и **Фиг.12**, производился отсчёт показаний в отсутствии трансмиссии (**Фото.12**) и во время её осуществления (**Фото.13**) и в отсутствии трансмиссии (**Фото.14**) и во время её отсутствия (**Фото.15**) Цифровым измерителем , внешний вид передней панели которого представлен на **Фото.7. 12, 13, 14, 15**, в лабораторном помещении на расстоянии примерно метров по прямой от места установки Модели (именно эти значения на их табло и были использованы там).



Фото.14, Фото.15

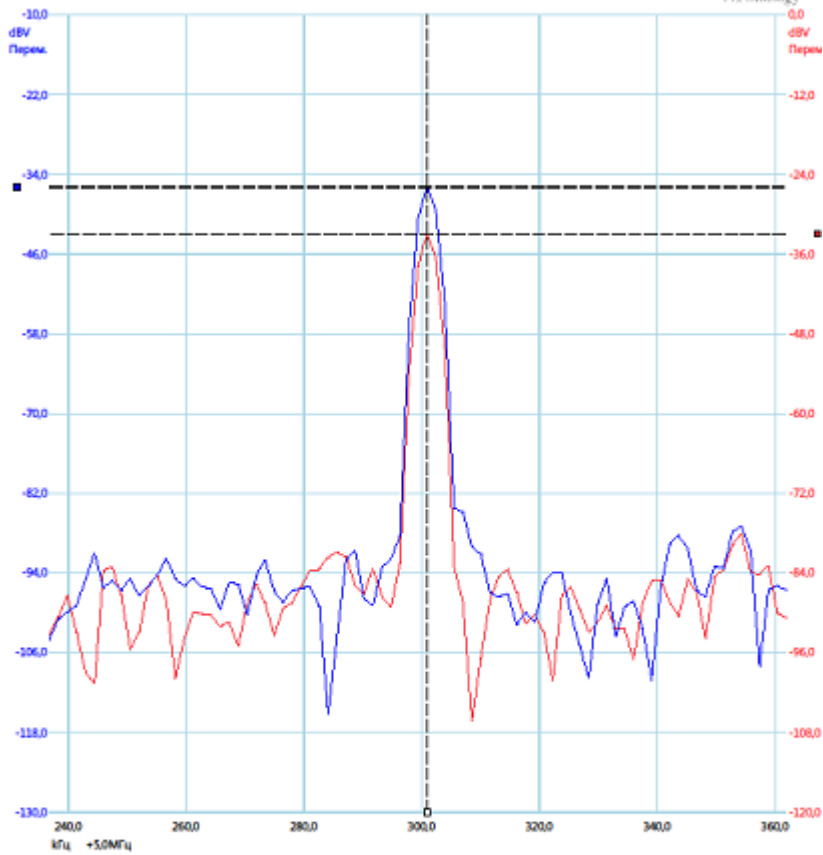
15.4. Как можно видеть на **Фото.7** правее Измерителя чуть выше размещены для регистрации сигнала излучения на расстояние примерно по прямой от Модели на упомянутые пассивные Приёма — Передающая Модель и приёмная с целью контроля реальной обстановки в эфире в диапазоне. В момент регистрации кривых сигналов в рабочих точках режима работы Модели на **Фиг.11** и **Фиг.12** с помощью Измерителя были получены, представленные на **Фиг.14** и **Фиг.13** графики временной характеристики и спектральной плотности сигналов, зарегистрированных выше названными приёмными антеннами, соответственно.

Ранее предполагали, на основании идеализации, что «Действующая Высота

Но в настоящий момент, зная значение в соответствии с изображением на экране **Фото.15** Измерителя, находящегося рядом с Антенной в соответствии с их изображением на **Фото.7**), и зная величину выходного напряжения (из информации из **Фиг.14**), можем на основании расчёта считать, что действующая высота Антенны. Из текстовой части Примечания **Фиг.7** следует, что значение выходного напряжения Модели было выше выходного напряжения Антенны в, поэтому для частоты фактически

15.5. При амплитудном значении напряжения на выходе Трансивера равном

(см. **Фиг.11**) на обмотке соленоида амплитудное значение, зная значение волнового сопротивления и величину тока может быть рассчитано:

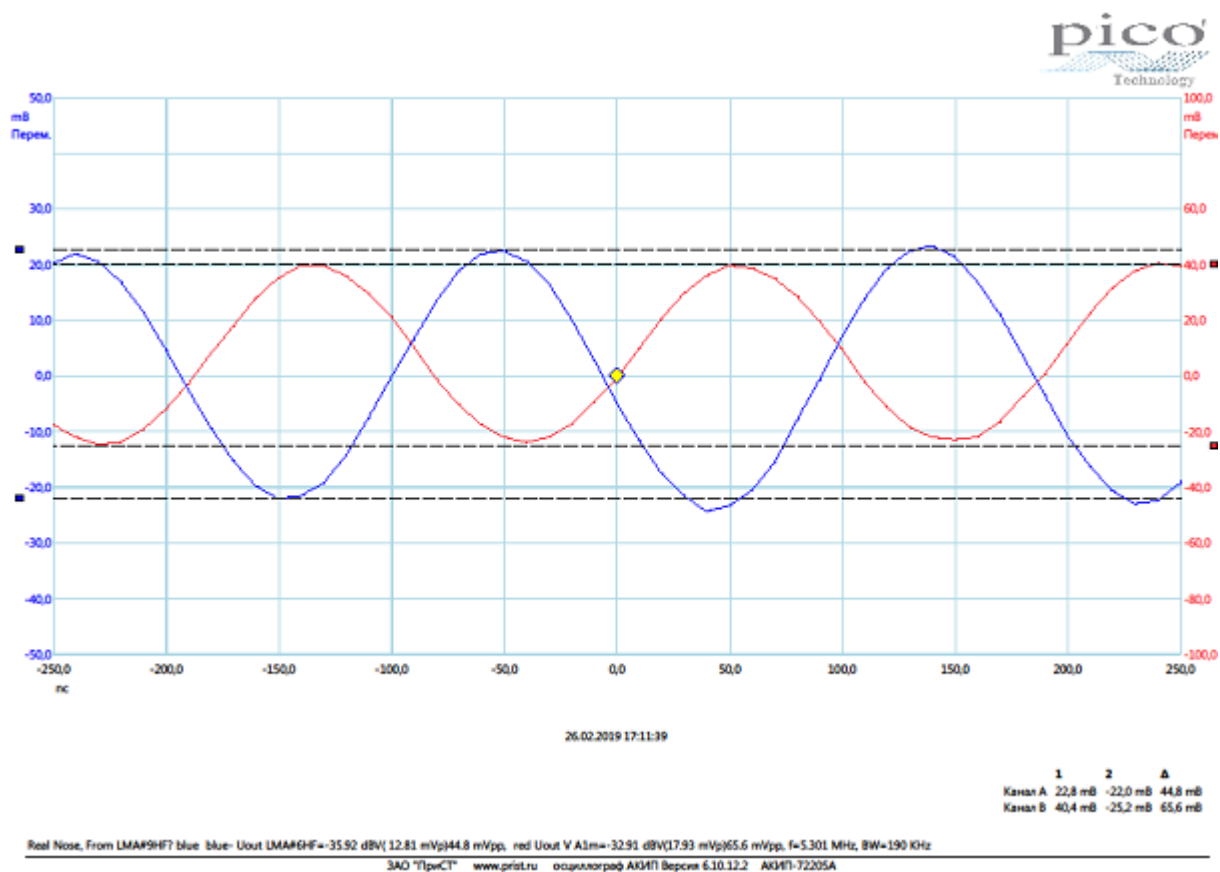


26.02.2019 17:25:25

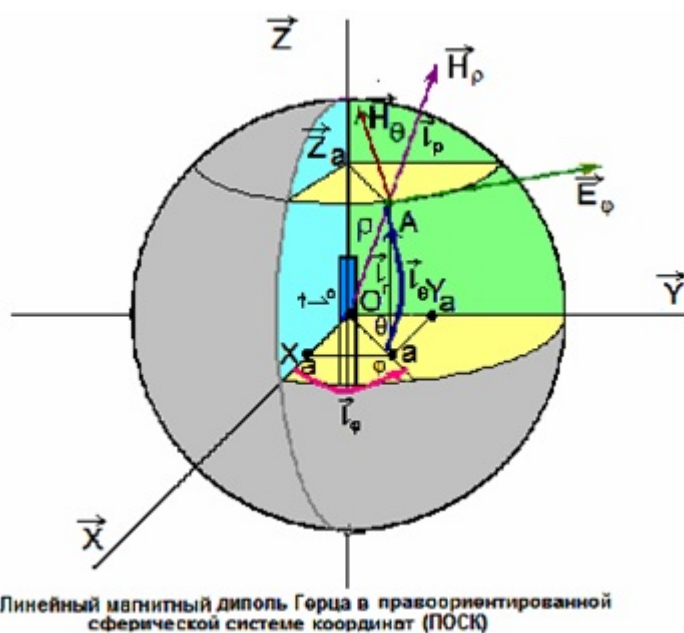
Канал	Название	Диапазон	Значение	Мин.	Макс.	Среднее	σ	1	2	Δ	1/ Δ
A	Amplitude at...	По пик	-35,75 dBV	-35,75 dBV	-35,75 dBV	-35,75 dBV	0 dBV	Частота	5,3010312...	--	--
A	Average Am...	По пик	12,81 mB	12,81 mB	12,81 mB	12,81 mB	0 B	Канал A	-35,92 dBV	--	--
A	Total Power	Канал пол.	15,36 mW	15,36 mW	15,36 mW	15,36 mW	0 W	Канал B	-32,91 dBV	--	--
B	Amplitude at...	По пик	-32,85 dBV	-32,85 dBV	-32,85 dBV	-32,85 dBV	0 dBV				
B	Average Am...	По пик	17,87 mB	17,87 mB	17,87 mB	17,87 mB	0 B				
B	Total Power	Канал пол.	23,11 mW	23,11 mW	23,11 mW	23,11 mW	0 W				

cal Noise, from LMA99HF7 blue: Uout LMA99HF7=-35.92 dBV(12.81 mVp)44.8 mVpp, red: Uout V A1m=-32.91 dBV(17.93 mVp)65.6 mVpp, f=5.301 MHz, BW=190 kHz

Фиг.13.



Фиг.14



Фиг.15

Для элементарного Магнитного Диполя Герца, условно в открытом пространстве представленного на **Фиг.15**, когда длина его тела много меньше площади его поперечного сечения и много меньше длины волны им излучаемой, — принято описывать основные параметра создаваемого им электромагнитного поля в основном следующими уравнениями [8, 9, 10].

$$E_{\varphi m} = -\frac{J_m I_m}{4\pi} \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \left[\left(\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right)^2 + i \frac{\lambda}{2\pi\rho} \right] e^{-i\alpha\rho} \cos\theta \quad (1-1)$$

$$H_{\rho m} = \frac{J_m I_m}{4\pi^2 \mu f} \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^3 \left[-i \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right)^3 + \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right)^2 \right] e^{-i\alpha\rho} \sin\theta \quad (2-2)$$

$$H_{\theta m} = -\frac{J_m I_m}{4\pi^2 \mu f} \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^3 \left[-i \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right)^3 + \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right)^2 + i \frac{\lambda}{2\pi\rho} \right] e^{-i\alpha\rho} \cos\theta \quad (2-3),$$

где $\alpha = 2\pi/\lambda$ (2-4), $c = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$ (2-5), где

J_m — «Магнитный ток» протекаемый в теле ПЛМА, [В];

где $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ (1-7) $\mu = \mu_0 \mu_r$ (1-8)

\vec{E} — вектор напряженности электрической составляющей электромагнитного поля с единицей измерения, []

\vec{H} — вектор напряженности магнитной составляющей электромагнитного поля с единицей измерения, [].

\vec{B} — вектор индукции магнитной составляющей электромагнитного поля с единицей измерения [], [] []

ε_0 — коэффициент диэлектрической проницаемости в вакууме, [],
[], где

$$\varepsilon_0 = 1/36\pi 10^9, \quad (1-9)$$

ε_r — относительная величина диэлектрической проницаемости среды,

μ_0 — коэффициент магнитной проницаемости в вакууме, [],

[], где $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ (1-10)

μ_r — относительная величина магнитной проницаемости среды,

$$\lambda_0 = c_0 / f \quad (1-11)$$

f — частота несущей, излучаемая ЛМА в Гц.

$$c_0 = 1 / \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} \quad (1-12)$$

$$\lambda = \lambda_0 / \sqrt{\varepsilon_r \mu_r} \quad (1-13)$$

$$\alpha = 2\pi/\lambda_0 \quad (1-14) \quad \mu_0 f = W_0 / \lambda_0 \quad (1-15) \quad \omega = 2\pi f \quad (1-16)$$

$$W_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad (1-17) \quad W = W_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \quad (1-18) \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad (1-19) \quad c = c_0 \sqrt{\frac{1}{\epsilon_r \mu_r}} \quad (1-20)$$

W_0, W — волновое сопротивление в «открытом пространстве (вакууме) и в окружающей среде, соответственно, [Ом],

d — диаметр стержня цилиндра, изображённого вертикально в центре координатной системы, [м],

l_M — длина стержня, обозначающего тело Линейной Магнитного Антенны (ЛМА) [м],

как разновидности Элементарного Магнитного Диполя Герца (МГД):

Ниже приводится материал теоретического расчёта с помощью Компьютерной лицензированной программы [11], сохранившийся у автора вместе с ноутбуком с системой , по этому ниже результат действия данной программы приходится на современном ноутбуке приводить в «графическом» виде, как рабочий материал для значения , и для двух дистанций равной и равной (длине волны) .

```

1. LMAЭНН l=1 m, l0=30cm, N=13
   d0=4.6 cm, d1=3.2cm, d2=1.8, f=5.3 MHz
mu0=4*pi*10^-7 henry (1-1)  d0:=0.045 m  N:=13  l0:=0.30 m  f1:=5.3 MHz
Lo1:=(pi*d0*N)^2*10^-7*henry (1-2)  Lo1=1.055*10^-6 henry
Co:=(23.5*10^-12)F  Co=2.35*10^-11 F  La:=1/(4*pi^2*f1^2*Co)
La=3.837*10^-5 henry (1-4)  mu0ff:=La/Lo1 (1-5)  mu0ff=36.383  i:=sqrt(-1)

ka:=1 m  D:=10 m  f1:=5.3 MHz  w:=8.854187817*10^-12 farad/m
pi=3.142  c=2.718  d^2=0.54+0.841i  c^-1=0.54-0.841i

mu0=4*pi*10^-7 henry  mu:=1  theta:=0  nr:=1
mu0=1.257*10^-6 henry/m  w0=8.854*10^-12 farad/m  mu0=1.257*10^-6 henry/m
e:=er*eo  eo:=1/sqrt(mu0*eo)  eo=2.998*10^8 m^-1  f1=5.3*10^6 s^-1
eo=2.998*10^8 m^-1  er:=eo*sqrt(mu0/er)  ka1:=eo/f1  ka1=2.998*10^3 m^-1
f1=5.3*10^6 s^-1  ka1=56.565 m  eo:=2*pi/ka1  w01:=2*D*pi/ka1
eo=0.111 m^-1  w01=1.111  ka1:=eo/f1  er1:=2*pi/ka1
ka1=56.565 m  wr1:=2*D*pi/ka1
wr1=1.111  Wo:=sqrt(mu0/eo)  Wo=376.73 ohm
mBp:=Im(lm)/(4*pi) * (D^2 + i*k^-1*D) * e^-i*alpha*D*cos(theta)
mBp=Im(lm)/(4*pi*Wo) * (-i*D^3 + k^-1*D^2 + k^-2*D) * e^-i*alpha*D*cos(theta)  BW1:=190.8 KHz
mBp:=Im(lm)/(4*pi*Wo) * (-i*D^3 + k^-2*D) * e^-i*alpha*D*cos(theta)  Qal:=f1/BW1
Qal=27.778  e1:=2*pi*f1  e1=3.33*10^7 s^-1
Lo(d0, k0, N):=(pi*d0*N)^2*10^-7*henry  Lo(d0, k0, N)=1.055*10^-6 henry
La1(d0, k0, N)=mu0ff*Lo(d0, k0, N)  La1(d0, k0, N)=3.837*10^-5 henry

```

$$\begin{aligned}
2. \quad X_{nl}(d_0, l_0, N, \omega) &:= i \omega l \cdot I_{nl}(d_0, l_0, N) & X_{nl}(d_0, l_0, N, \omega) &= 1.278 \cdot 10^{-5} i \cdot \omega l m \\
I_{nl} &:= \frac{X_{nl}(d_0, l_0, N, \omega)}{Q_{nl}} & I_{nl} &= 46.002 i \cdot \omega l m & I_{nl} &= 11.67 \text{ A} \\
U_{nl}(d_0, l_0, N) &:= I_{nl} \cdot X_{nl}(d_0, l_0, N, \omega) & U_{nl}(d_0, l_0, N) &= 1.491 \cdot 10^{-4} i \cdot \omega V \\
mH_0 &= I_{nl} \cdot \frac{lm}{(4\pi)} \cdot (D^2 + i \lambda^{-1} D) \cdot e^{-i \omega D} \cos(\theta) \\
mH_0 &= I_{nl} \cdot \frac{\lambda}{4\pi \cdot W_0} \cdot (-i D^3 + \lambda^{-1} D^2 + \lambda^{-2} D) \cdot e^{-i \omega D} \cos(\theta) \\
mH_0 &= I_{nl} \cdot \frac{\lambda}{4\pi \cdot W_0} \cdot (-i D^3 + \lambda^{-2} D) \cdot e^{-i \omega D} \cos(\theta) & \theta &:= 0 & D &= 10 \text{ m} \\
E_{nl}(d_0, l_0, N) &:= \frac{U_{nl}(d_0, l_0, N)}{\pi \cdot d_0 \cdot N} & E_{nl}(d_0, l_0, N) &= 8.114 \cdot 10^3 i \frac{V}{m} \\
I_{na} &:= E_{nl}(d_0, l_0, N) \cdot I_{nl} & I_{na} &= 8.114 \cdot 10^3 i \cdot \omega V \\
D &= 10 \text{ m} & \cos(\theta) &= 1 & \theta &= 0 & \omega &= 0.111 \text{ m}^{-1} \\
e^{-i \omega D} &= 0.444 - 0.896i & I_{na} &= 1 \cdot \omega V \\
3. \quad mE_{nl}(D, I_{na}, \lambda_0 l, \omega, \theta) &:= I_{na} \cdot \frac{lm}{(4\pi)} \cdot (D^2 + i \lambda_0 l^{-1} D) \cdot e^{-i \omega D} \cos(\theta) \\
mE_{nl}(D, I_{na}, \lambda_0 l, \omega, \theta) &= 5.279 + 3.889i \frac{V}{m} & |mE_{nl}(D, I_{na}, \lambda_0 l, \omega, \theta)| &= 6.557 \frac{V}{m} \\
E(D) &:= mE_{nl}(D, I_{na}, \lambda_0 l, \omega, \theta) & E(D) &= 5.279 + 3.889i \frac{V}{m} \\
|E(D)| &= 6.557 \frac{V}{m} \\
4. \quad mE_{nl}(D, \lambda_0 l, \omega, I_{na}, W_0, \theta) &:= \left(\frac{I_{na} \cdot lm}{4\pi \cdot W_0} \cdot \frac{\lambda_0 l}{(4\pi \cdot W_0)} \right) \cdot [-i D^3 + \lambda_0 l^{-1} D^2 + (\lambda_0 l)^{-2} D] \cdot e^{-i \omega D} \cos(\theta) \\
mE_{nl}(D, \lambda_0 l, \omega, I_{na}, W_0, \theta) &= 0.061 - 0.078i \text{ m}^{-1} \cdot A \\
|mE_{nl}(D, \lambda_0 l, \omega, I_{na}, W_0, \theta)| &= 0.099 \text{ m}^{-1} \cdot A & H(D) &:= mE_{nl}(D, \lambda_0 l, \omega, I_{na}, W_0, \theta) \\
H(D) &= 0.061 - 0.078i \text{ m}^{-1} \cdot A & |H(D)| &= 0.099 \text{ m}^{-1} \cdot A \\
mE_{nl}(D, \lambda_0 l, I_{na}) &:= 4\pi \cdot \mu_0 \cdot \text{coeff} \cdot mE_{nl}(D, \lambda_0 l, \omega, I_{na}, W_0, \theta) \\
mE_{nl}(D, \lambda_0 l, I_{na}) &= 3.511 \cdot 10^{-5} - 4.477 \cdot 10^{-5} i \text{ m}^{-1} \cdot A \\
|mE_{nl}(D, \lambda_0 l, I_{na})| &= 5.689 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-1} \cdot A \\
E(D) &:= mE_{nl}(D, \lambda_0 l, I_{na}) & E(D) &= 3.511 \cdot 10^{-5} - 4.477 \cdot 10^{-5} i \text{ m}^{-1} \cdot A \\
|E(D)| &= 5.689 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-1} \cdot A \\
E(D) &= 5.279 + 3.889i \frac{V}{m} & |E(D)| &= 6.557 \frac{V}{m} \\
E_2(D) &:= W_0 \cdot H(D) & E_2(D) &= 23.023 - 29.354i \frac{V}{m} & |E_2(D)| &= 37.306 \frac{V}{m} \\
E_{max} &:= \sqrt{|E_2(D)|^2 + (|E(D)|)^2} & E_{max} &= 37.878 \frac{V}{m} & D &= 10 \text{ m}
\end{aligned}$$

Итак, проведённый анализ с использованием аналитических выражений для виртуальной антенны типа с размерами магнитопровода и при значении антенного тока равного в процессе её теста, описанного выше для величины Напряжённости Электрического поля на дистанции выдал

Фото.15.

1. LMA08H $l=1$ m, $l_0=30$ cm, $N=13$
 $d_0=4.6$ cm, $d_{in}=3.2$ cm, $d_{th}=1.8$, $f=5.3$ MHz

$\mu_0=4\pi\cdot 10^{-7}$ henry (1-1) $d_0:=0.045$ m $N:=13$ $l_0:=0.30$ m $f_1:=5.3$ MHz

$Lo:=\frac{(\pi\cdot d_0\cdot N)^2\cdot 10^{-7}\cdot \text{henry}}{(l_0+0.45\cdot d_0)\cdot \text{m}}$ (1-2) $Lo=1.055\cdot 10^{-6}$ henry

$Co:=\left(23.5\cdot 10^{-12}\right)^2$ $Co=2.35\cdot 10^{-11}$ $\varphi\cdot La:=\frac{1}{4\pi^2\cdot f_1^2\cdot Co}$

$La=3.837\cdot 10^{-5}$ henry (1-4) $\mu_{eff}:=\frac{La}{Lo}$ (1-5) $\mu_{eff}=36.380$ $\nu:=\sqrt{-1}$

$ka:=1$ m $D:=56.7$ m $f_1:=5.3$ MHz $\nu:=8.854187817\cdot 10^{-12}$ $\frac{\text{farad}}{\text{m}}$

$\pi=3.142$ $\sigma=2.718$ $\sigma^3=0.54+0.841i$ $\sigma^{-1}=0.54-0.841i$

$\mu_0=4\pi\cdot 10^{-7}$ henry $\mu_r:=1$ $\theta:=0$ $\epsilon_r:=1$

$\mu_0=1.257\cdot 10^{-6}$ henry $\epsilon_0=8.854\cdot 10^{-12}$ $\frac{\text{farad}}{\text{m}}$ $\mu_0=1.257\cdot 10^{-6}$ ϵ_0^{-1} henry

$\epsilon:=\epsilon_r\cdot\epsilon_0$ $\epsilon_0:=\frac{1}{\sqrt{\mu_0\cdot\epsilon_0}}$ $\epsilon_0=2.998\cdot 10^8$ $\epsilon_0\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ $f_1=5.3\cdot 10^6$ ϵ_0^{-1}

$\epsilon_0=2.998\cdot 10^8$ $\epsilon_0\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ $\alpha_r:=\frac{\mu_r}{\epsilon_r}$ $\lambda_01:=\frac{\epsilon_0}{f_1}$ $\alpha_r=2.998\cdot 10^8$ $\epsilon_0\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

$f_1=5.3\cdot 10^6$ ϵ_0^{-1} $\lambda_01=56.565\cdot\text{m}$ $\epsilon_0:=2\cdot\frac{\pi}{\lambda_01}$ $\psi_01:=2\cdot D\cdot\frac{\pi}{\lambda_01}$

$\epsilon_0=0.111\cdot\text{m}^{-1}$ $\psi_01=6.298$ $\lambda_01:=\frac{\alpha_r}{f_1}$ $\alpha_01:=2\cdot\frac{\pi}{\lambda_01}$

$\lambda_01=56.565\cdot\text{m}$ $\psi_01:=2\cdot D\cdot\frac{\pi}{\lambda_01}$

$\psi_01=6.298$ $W_0:=\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$ $W_0=376.73$ ohm

$mE_y:=\text{Im}\frac{\text{Im}}{(4\pi)}\cdot(D^2+1\lambda^{-1}D^1)\cdot e^{-1\alpha_0D}\cdot\cos(\theta)$

$mE_z:=\text{Im}\frac{\lambda}{4\pi\cdot W_0}\cdot(-1D^3+\lambda^{-1}\cdot D^2+\lambda^{-3}\cdot D^1)\cdot e^{-1\alpha_0D}\cdot\cos(\theta)$ $BW1:=190.8$ KHz

$mH_y:=\text{Im}\frac{\lambda}{4\pi\cdot W_0}\cdot(-1D^3+\lambda^{-2}\cdot D^1)\cdot e^{-1\alpha_0D}\cdot\sin(\theta)$ $Q_01:=\frac{f_1}{BW1}$

$Q_01=27.778$ $\alpha_01:=2\pi\cdot f_1$ $\alpha_01=3.33\cdot 10^7$ ϵ_0^{-1}

$Lo(d_0, l_0, N):=\frac{(\pi\cdot d_0\cdot N)^2\cdot 10^{-7}\cdot \text{henry}}{(l_0+0.45\cdot d_0)\cdot \text{m}}$ $Lo(d_0, l_0, N)=1.055\cdot 10^{-6}$ henry

$La1(d_0, l_0, N):=\mu_{eff}\cdot Lo(d_0, l_0, N)$ $La1(d_0, l_0, N)=3.837\cdot 10^{-5}$ henry

$$\begin{aligned}
2. \quad X_{nl}(d_0, l_0, N, \omega) &:= i \cdot \omega l \cdot X_{nl}(d_0, l_0, N) \quad X_{nl}(d_0, l_0, N, \omega) = 1.278 \cdot 10^3 i \text{ -ohm} \\
m &:= \frac{X_{nl}(d_0, l_0, N, \omega)}{Q_{nl}} \quad m = 46.002 i \text{ -ohm} \quad I_{m0} := 11.67 \text{ A} \\
U_{mnl}(d_0, l_0, N) &:= I_{m0} \cdot X_{nl}(d_0, l_0, N, \omega) \quad U_{mnl}(d_0, l_0, N) = 1.491 \cdot 10^4 i \text{ -V} \\
mE_p &:= I_{m0} \cdot \frac{lm}{(4 \cdot \pi)} \cdot (D^2 + i \cdot \lambda^{-1} \cdot D) \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot D} \cdot \cos(\theta) \\
mE_p &:= I_{m0} \cdot lm \cdot \frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot W_0} \cdot (-i \cdot D^3 + \lambda^{-1} \cdot D^2 + \lambda^{-3} \cdot D^3) \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot D} \cdot \cos(\theta) \\
mE_p &:= I_{m0} \cdot lm \cdot \frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot W_0} \cdot (-i \cdot D^3 + \lambda^{-2} \cdot D^3) \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot D} \cdot \sin(\theta) \quad \theta := 0 \quad D = 56.7 \text{ m} \\
E_{nl}(d_0, l_0, N) &:= \frac{U_{mnl}(d_0, l_0, N)}{\pi \cdot d_0 \cdot N} \quad E_{nl}(d_0, l_0, N) = 8.114 \cdot 10^3 i \frac{\text{V}}{\text{m}} \\
J_{mnl} &:= E_{nl}(d_0, l_0, N) \cdot lm \quad J_{mnl} = 8.114 \cdot 10^3 i \text{ -A} \\
D &= 56.7 \text{ m} \quad \cos(\theta) = 1 \quad \theta = 0 \quad \omega = 0.111 \text{ m}^{-1} \\
e^{-i \cdot \omega \cdot D} &= 1 - 0.015 i \quad lm = 1 \text{ m} \\
3. \quad mE\phi(D, lm, \lambda_{nl}, \omega, \theta) &:= J_{mnl} \cdot \frac{lm}{(4 \cdot \pi)} \cdot (D^2 + i \cdot \lambda_{nl}^{-1} \cdot D^3) \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot D} \cdot \cos(\theta) \\
mE\phi(D, lm, \lambda_{nl}, \omega, \theta) &= -0.198 + 0.204 i \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad |mE\phi(D, lm, \lambda_{nl}, \omega, \theta)| = 0.284 \frac{\text{V}}{\text{m}} \\
E1(D) &:= mE\phi(D, lm, \lambda_{nl}, \omega, \theta) \quad E1(D) = -0.198 + 0.204 i \frac{\text{V}}{\text{m}} \\
|E1(D)| &= 0.284 \frac{\text{V}}{\text{m}} \\
4. \quad mE\theta1(D, \lambda_{nl}, \omega, lm, W_0, \theta) &:= \left(J_{mnl} \cdot lm \cdot \frac{\lambda_{nl}}{4 \cdot \pi \cdot W_0} \right) \cdot [-i \cdot D^3 + \lambda_{nl}^{-1} \cdot D^2 + (\lambda_{nl})^{-2} \cdot D^3] \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot D} \cdot \cos(\theta) \\
mE\theta1(D, \lambda_{nl}, \omega, lm, W_0, \theta) &= 5.479 \cdot 10^{-4} + 1.059 \cdot 10^{-3} i \text{ -m}^{-1} \cdot \text{A} \\
|mE\theta1(D, \lambda_{nl}, \omega, lm, W_0, \theta)| &= 1.193 \cdot 10^{-3} \quad mE1(D) := mE\theta1(D, \lambda_{nl}, \omega, lm, W_0, \theta) \\
E1(D) &= 5.479 \cdot 10^{-4} + 1.059 \cdot 10^{-3} i \quad |E1(D)| = 1.193 \cdot 10^{-3} \text{ -m}^{-1} \cdot \text{A} \\
mE\theta1(D, \lambda_{nl}, I_{mnl}) &:= 4 \cdot \pi \cdot \mu_0 \cdot \text{coeff}(mE\theta1(D, \lambda_{nl}, \omega, lm, W_0, \theta)) \\
mE\theta1(D, \lambda_{nl}, I_{mnl}) &= 3.148 \cdot 10^{-7} + 6.087 \cdot 10^{-7} i \text{ -tesla} \\
|mE\theta1(D, \lambda_{nl}, I_{mnl})| &= 6.852 \cdot 10^{-7} \text{ -tesla} \\
E1(D) &:= mE\theta1(D, \lambda_{nl}, I_{mnl}) \quad E1(D) = 3.148 \cdot 10^{-7} + 6.087 \cdot 10^{-7} i \text{ -tesla} \\
|E1(D)| &= 6.852 \cdot 10^{-7} \text{ -tesla} \\
E1(D) &= -0.198 + 0.204 i \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad |E1(D)| = 0.284 \frac{\text{V}}{\text{m}} \\
E2(D) &:= W_0 \cdot E1(D) \quad E2(D) = 0.206 + 0.399 i \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad |E2(D)| = 0.449 \frac{\text{V}}{\text{m}} \\
E_{max} &:= \sqrt{|E2(D)|^2 + |E1(D)|^2} \quad E_{max} = 0.532 \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad D = 56.7 \text{ m} \\
P_{rad} &:= 4 \cdot \pi \cdot |E_{max}|^2 \cdot \frac{D^2}{2 \cdot W_0} \quad P_{rad} = 15.161 \text{ -watt}
\end{aligned}$$

Интересно отметить, что приведённые выше теоретические расчёты для дистанции 56.7 м при заданном значении протекаемого по ней тока а) дали амплитудное значение напряжения на индуктивности обмотки соленоида равное , что одного порядка со значением

1. Основные уравнения для магнитной ($H_\varphi(t, \rho)$) и электрических

$$(E_\rho(t, \rho) \text{ и } E_\theta(t, \rho))$$

составляющих напряжённостей электромагнитного поля для Виртуальной модели **Фиг. 16** Линейных Электрических Антенн (ЛЭА), относящихся к излучателям типа Элементарного Электрического Диполя Герца (ЭГД) выведенные автором монографии [8] в право ориентированной сферической системе ортогональных координат являются моно гармоническими функциями круговой частоты ω , пространственных координат (ρ, θ, φ) и времени t вида:

$$H_\varphi(t, \rho) = H_{\varphi m} e^{i\omega t} \quad (2-1)$$

$$E_\rho(t, \rho) = E_{\rho m} e^{i\omega t} \quad (2-2)$$

$$E_\theta(t, \rho) = E_{\theta m} e^{i\omega t} \quad (2-3),$$

где амплитудные их значения описываются выражениями:

$$H_{\varphi m} = \frac{I_{am} l_e}{4\pi} \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \left[\left(\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right)^2 + i \frac{\lambda}{2\pi\rho} \right] e^{-i\alpha\rho} \cos\theta \quad (2-4)$$

$$E_{\rho m} = \frac{I_{am} l_e}{4\pi\varepsilon\omega} \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^3 \left[-i \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right)^3 + \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right)^2 \right] e^{-i\alpha\rho} \sin\theta \quad (2-5)$$

$$E_{\theta m} = -\frac{I_{am} l_e}{4\pi\varepsilon\omega} \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^3 \left[-i \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right)^3 + \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right)^2 + i \frac{\lambda}{2\pi\rho} \right] e^{-i\alpha\rho} \cos\theta \quad (2-6)$$

где $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ (2-7) $\mu = \mu_0 \mu_r$ (2-8)

\vec{E} — вектор напряженности электрической составляющей электромагнитного поля с единицей измерения, []

\vec{H} — вектор напряженности магнитной составляющей электромагнитного поля с единицей измерения, [].

\vec{B} — вектор индукции магнитной составляющей электромагнитного поля

с единицей измерения [], [] []

\vec{J}_e — вектор плотности электрического тока, [].

\vec{J}_m — вектор плотности «магнитного тока», [].

ϵ_0 — коэффициент диэлектрической проницаемости в вакууме, [],
[], где

$$\epsilon_0 = 1/36\pi 10^9, (2-9)$$

ϵ_r — относительная величина диэлектрической проницаемости среды,

μ_0 — коэффициент магнитной проницаемости в вакууме, [],

[], где $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ (2-10)

μ_r — относительная величина магнитной проницаемости среды,

$$\lambda_0 = c_0 / f (2-11)$$

f — частота несущей, излучаемая ЛМА в Гц.

$$c_0 = 1 / \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} (2-12)$$

$$\lambda = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r \mu_r} (2-13)$$

ϵ_r — эффективное значение относительной величины диэлектрической проницаемости морской воды,

μ_r — эффективное значение относительной величины магнитной проницаемости морской воды,

$$\alpha = 2\pi / \lambda_0 (2-14) \quad \mu_0 f = W_0 / \lambda_0 (2-15) \quad \omega = 2\pi f (2-16)$$

$$W_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} (2-17) \quad W = W_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} (2-18) \quad \lambda = \frac{c}{f} (2-19) \quad c = c$$

W_0 , W — волновое сопротивление в «открытом пространстве (вакууме) и в окружающей среде, соответственно, [Ом],

d — диаметр стержня цилиндра, изображённого вертикально в центре координатной системы, [м],

l_e — длина стержня, обозначающего тело Линейной Электрической Антенны (ЛЭА) [м],

и при условиях:

$$l_e \ll \frac{\lambda}{2\pi} \quad (2 - 21) \quad d \ll l_e \quad (2 - 22)$$

является элементарным Электрическим Диполем Герца (ЭГД).

$$I_{am} = j_e F_a \quad (2 - 23) \quad F_a = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2 - 24) \quad \mathcal{E} = \frac{1}{\lambda W} \quad (2 - 25)$$

I_{am} — амплитудное значение тока проходящий по телу ЭГД [А],

F_a — сечение поперечное сечение цилиндрического тела ЭГД [кв.м],

Уравнения (2 — 4, 5, 6) можно привести к виду:

$$H_{\varphi m} = \frac{I_{am} l_e}{4\pi\rho^2} (1 + i\alpha\rho) e^{-i\alpha\rho} \cos\theta \quad (2 - 26)$$

$$E_{\rho m} = \frac{I_{am} l_e \lambda W}{4\pi^2 \rho^3} [-i + \alpha\rho + i(\alpha\rho)^2] e^{-i\alpha\rho} \sin\theta \quad (2 - 27)$$

$$E_{\theta m} = -\frac{I_{am} l_e \lambda W}{8\pi^2 \rho^3} [-i + \alpha\rho + i(\alpha\rho)^2] e^{-i\alpha\rho} \cos\theta \quad (2 - 28)$$

$$\rho \geq \frac{1}{\alpha} = \frac{\lambda}{2\pi}$$

В «Дальней зоне» когда (2 — 29) остаются лишь две компоненты напряжённостей электромагнитного потока, изучаемого ЭГД в свободном окружающее пространство:

$$H_{\varphi m} = i \frac{I_{am} l_e}{2\pi\lambda\rho} \cos\theta \quad (2 - 30)$$

$$E_{\theta m} = -i \frac{I_{am} l_e W}{2\pi\lambda\rho} \cos\theta \quad (2 - 31)$$

Амплитудное значение S_m [Ватт./сек] вектора Умова-Пойнтинга, который с физической

точки зрения являющейся плотностью секундного «расхода» электромагнитной энергии:

$$S_m = E_{\varphi m} H_{\varphi m}$$

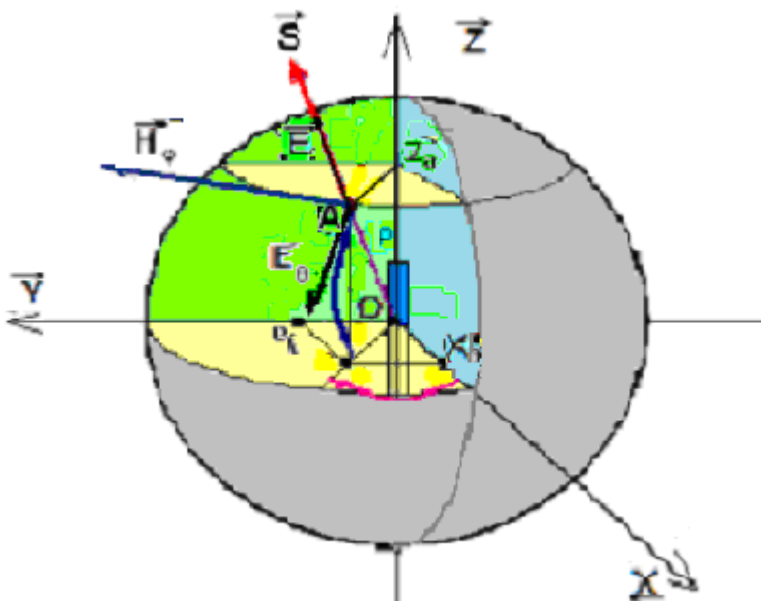
в право ориентированной системе ортогональных векторов (E, H, S) «Волновое

$$W = \frac{E_{\varphi m}}{H_{\varphi m}}, \quad W = -W_0$$

сопротивление» , исходя из значений выражений (1 — 31) и (1 — 32) является отрицательной величиной, где .

В отличие от МГД, где ориентация ортогональных векторов $[\vec{E}, \vec{H}, \vec{S}]$ излучаемого потока электромагнитной энергии является «правосторонней», для ЭГД ориентация ортогональных

векторов $[\vec{E}, \vec{H}, \vec{S}]$ излучаемого электромагнитного потока является «левосторонней». Для устранения этого «казуса» поэтому анализ Сферических волн, излучаемых ЭГД , требуется проводить [9] в «естественной» для ЭГД левосторонней сферической системе ортогональных координат, как это проиллюстрировано на **Фиг.16**



Фиг.16

Ниже приводится материал теоретического расчёта с помощью Компьютерной лицензированной программы [11], сохранившийся у автора вместе с ноутбуком с системой , по этому ниже результат действия данной программы приходится на современном ноутбуке приводить в «графическом» виде, как рабочий материал. При этом заложено было в программу, что длина , частота , амплитуда протекаемого по всей его длине по нему тока () для двух значений дистанций и (равной длине волны)

$$\begin{aligned}
 f &:= 5.3 \text{ MHz} & l &:= 1 \text{ m} & d &:= 5 \text{ mm} & I_{\text{ant}} &:= 11.67 \text{ A} & A_w &:= \pi \frac{d^2}{4} & I_{\text{ant}} &:= \frac{I_{\text{ant}}}{A_w} \\
 \mu &:= 6.954187817 \cdot 10^{-12} \frac{\text{H}}{\text{m}} & \rho &:= 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{henry}}{\text{m}} & \kappa &:= 3.142 & \epsilon &:= 2.718 \\
 n &:= 1 & \epsilon &:= n \cdot \epsilon_0 & \alpha &:= \frac{1}{\sqrt{\mu \cdot \epsilon_0}} & \alpha &:= 2.998 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} & W_0 &:= \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} & \lambda &:= \frac{c}{f} \\
 W_0 &:= 376.73 \text{ ohm} & \sigma^1 &:= 0.54 + 0.841i & \rho &:= 10 \text{ m} & I_{\text{ant}} &:= 5.943 \cdot 10^5 \text{ m}^{-2} \cdot \text{A} \\
 \rho &:= 10 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$1. \quad \alpha := 2 \frac{\pi}{\lambda} \quad \alpha = 0.111 \text{ m}^{-1} \quad \theta := 0 \quad \alpha = 0.111 \text{ m}^{-1} \quad \omega := 2 \pi f$$

$$\begin{aligned}
 E_{\text{pm}} &:= I_{\text{ant}} \frac{1 - \alpha^2 \left[-i \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho} \right)^3 + \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho} \right)^2 \right] e^{-i\alpha\rho} \cos(\theta)}{4 \pi \epsilon_0 \omega} \\
 E_{\text{sm}} &:= I_{\text{ant}} \frac{1 - \alpha^2 \left[-i \left(\frac{1}{\alpha\rho} \right)^3 + \left(\frac{1}{\alpha\rho} \right)^2 + i \frac{1}{\alpha\rho} \right] e^{-i\alpha\rho} \cos(\theta)}{4 \pi \epsilon_0 \omega} \\
 E_{\text{pm}}(\rho) &:= I_{\text{ant}} \frac{1 - \alpha^2 \left[-i \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho} \right)^3 + \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho} \right)^2 \right] e^{-i\alpha\rho} \cos(\theta)}{4 \pi \epsilon_0 \omega}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{\text{pm}}(\rho) &:= 0 \frac{\text{V}}{\text{m}} & \beta &:= -1 & i &:= 1 & \alpha &:= 0.111 \text{ m}^{-1} & \beta &:= -i \cdot \alpha \cdot \rho & \beta &:= -1.111i \\
 \sigma^1 &:= 0.54 + 0.841i & \kappa &:= \sigma^1 & \kappa 2 &:= \frac{\alpha}{\rho^2} & \kappa 0 &:= 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \\
 \kappa 1 &:= \frac{-1}{\rho^3} & \kappa 5 &:= \frac{1 - \alpha^2}{\rho} \\
 \kappa 1 &:= -1 \cdot 10^{-3} i \text{ m}^{-3} & \kappa 2 &:= 1.111 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-3} & \kappa 3 &:= 1.234 \cdot 10^{-3} i \text{ m}^{-3} \\
 n &:= \kappa 1 + \kappa 2 + \kappa 3 & n &:= 1.111 \cdot 10^{-3} + 2.339 \cdot 10^{-4} i \text{ m}^{-3} & n 1 &:= n \cdot \omega \\
 n 1 &:= 1.111 \cdot 10^{-3} + 2.339 \cdot 10^{-4} i \text{ m}^{-2} & n 2 &:= \kappa 0 1 & n 2 &:= 7.027 \cdot 10^{-4} - 8.915 \cdot 10^{-4} i \text{ m}^{-2} \\
 n 3 &:= n 2 \cos(\theta) & n 3 &:= 7.027 \cdot 10^{-4} - 8.915 \cdot 10^{-4} i \text{ m}^{-2} & n 4 &:= I_{\text{ant}} n 3 \\
 n 4 &:= 8.2 \cdot 10^{-3} - 0.011 \text{ m}^{-2} \cdot \text{A} & E_{\text{sm}}(\rho) &:= \frac{n 4}{(4 \pi \epsilon_0 \omega)} & E_{\text{sm}}(\rho) &:= 2.213 - 2.606i \frac{\text{V}}{\text{m}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{\text{sm}} &:= I_{\text{ant}} \frac{1 - \alpha^2 \left[\left(\frac{1}{\alpha\rho} \right)^2 + i \frac{1}{\alpha\rho} \right] e^{-i\alpha\rho} \cos(\theta)}{4 \pi} & k 5 &:= \frac{1}{\rho^3} & k 5 &:= 0.01 \text{ m}^{-2} \\
 k 6 &:= \frac{i \alpha}{\rho} & k 6 &:= 0.011 i \text{ m}^{-2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k 7 &:= I_{\text{ant}} (k 5 + k 6) & k 7 &:= 0.01 + 0.011 i \text{ m}^{-1} & k 8 &:= k 7 \omega & k 8 &:= 0.014 - 4.029 \cdot 10^{-3} i \text{ m}^{-1} \\
 k 9 &:= I_{\text{ant}} \frac{k 8}{4 \pi} & k 9 &:= 0.013 - 3.742 \cdot 10^{-3} i \text{ m}^{-1} \cdot \text{A} & k 10 &:= k 9 \cos(\theta)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k 10 &:= 0.013 - 3.742 \cdot 10^{-3} i \text{ m}^{-1} & H_{\text{pm}}(\rho) &:= k 10 \\
 H_{\text{pm}}(\rho) &:= 0.013 - 3.742 \cdot 10^{-3} i \text{ m}^{-1} \cdot \text{A} & E_{\text{sm}}(\rho) &:= W_0 \cdot H_{\text{pm}}(\rho)
 \end{aligned}$$

$$E_{\text{sm}}(\rho) = 5.035 - 1.41i \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad |E_{\text{sm}}(\rho)| = 5.229 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$E_{\text{sm}}(\rho) = 2.213 - 2.606i \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad |E_{\text{sm}}(\rho)| = 3.575 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$E_{\text{sm}}(\rho) = \sqrt{(\Re E_{\text{sm}}(\rho))^2 + (\Im E_{\text{sm}}(\rho))^2} \quad E_{\text{sm}}(\rho) = 5.056 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$\text{Prad} := 4 \pi \langle E_{\text{sm}}(\rho) \rangle^2 \frac{\rho^2}{2 \cdot W_0} \quad \text{Prad} = 42.638 \text{ W}$$

$$\begin{aligned}
f &:= 5.3 \text{ MHz} & l &:= 1 \text{ m} & dw &:= 5 \text{ mm} & I_{\text{em}} &:= 11.67 \text{ A} & A_w &:= \pi \frac{dw^2}{4} & I_{\text{em}} &:= \frac{I_{\text{em}}}{A_w} \\
\epsilon_0 &:= 8.854187817 \cdot 10^{-12} \frac{\text{farad}}{\text{m}} & \mu_0 &:= 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{henry}}{\text{m}} & \pi &:= 3.142 & \omega &:= 2 \cdot 718 \\
\alpha &:= 1 & \epsilon &:= \epsilon_0 \epsilon_0 & \epsilon_0 &:= \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} & \epsilon_0 &:= 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s} & W_0 &:= \frac{\mu_0}{4 \pi} & \lambda &:= \frac{\omega}{f} \\
W_0 &:= 376.73 \text{ ohm} & \epsilon^j &:= 0.54 + 0.841i & \rho &:= \lambda & I_{\text{em}} &:= 5.943 \cdot 10^5 \text{ m}^{-2} \cdot \text{A} \\
\rho &:= 56.585 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$1. \quad \alpha := 2 \frac{\pi}{\lambda} \quad \alpha = 0.111 \text{ m}^{-1} \quad \theta := 0 \quad \alpha = 0.111 \text{ m}^{-1} \quad \omega := 2 \pi f$$

$$E_{\text{pm}} = I_{\text{em}} \frac{10^{-\alpha^3 \left[-i \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho} \right)^3 + \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho} \right)^2 \right] e^{-i\alpha\rho} \cos(\theta)}}{4 \pi \epsilon_0 \omega}$$

$$E_{\text{Bm}} = I_{\text{em}} \frac{10^{-\alpha^3 \left[-i \left(\frac{1}{\alpha\rho} \right)^3 + \left(\frac{1}{\alpha\rho} \right)^2 + i \frac{1}{\alpha\rho} \right] e^{-i\omega\rho} \cos(\theta)}}{4 \pi \epsilon_0 \omega}$$

$$E_{\text{pm}}(\rho) := I_{\text{em}} \frac{10^{-\alpha^3 \left[-i \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho} \right)^3 + \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho} \right)^2 \right] e^{-i\alpha\rho} \cos(\theta)}}{4 \pi \epsilon_0 \omega}$$

$$E_{\text{pm}}(\rho) = 0 \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad \beta := \sqrt{-1} \quad i = i \quad \alpha = 0.111 \text{ m}^{-1} \quad \beta := -i \alpha \cdot \rho \quad \beta = -6.283i$$

$$\epsilon^j = 0.54 + 0.841i \quad \kappa := \omega^{\beta} \quad \kappa_2 := \frac{\alpha}{\rho^2} \quad \omega_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$$

$$\kappa_1 := \frac{-i}{\rho^3} \quad \kappa_3 := \frac{1 - \alpha^2}{\rho}$$

$$\kappa_1 = -5.525 \cdot 10^{-6} i \text{ m}^{-3} \quad \kappa_2 = 3.472 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-3} \quad \kappa_3 = 2.181 \cdot 10^{-4} i \text{ m}^{-3}$$

$$n := \kappa_1 + \kappa_2 + \kappa_3 \quad n = 3.472 \cdot 10^{-5} + 2.126 \cdot 10^{-4} i \text{ m}^{-3} \quad n_1 := \text{Re } n$$

$$n_1 = 3.472 \cdot 10^{-5} + 2.126 \cdot 10^{-4} i \text{ m}^{-3} \quad n_2 := \kappa \cdot n_1 \quad n_2 = 3.472 \cdot 10^{-5} + 2.126 \cdot 10^{-4} i \text{ m}^{-2}$$

$$n_3 := n_2 \cos(\theta) \quad n_3 = 3.472 \cdot 10^{-5} + 2.126 \cdot 10^{-4} i \text{ m}^{-2} \quad n_4 := \text{Im } n_3$$

$$n_4 = 4.052 \cdot 10^{-4} + 2.481 \cdot 10^{-3} i \quad E_{\text{Bm}}(\rho) := \frac{n_4}{(4 \pi \epsilon_0 \omega)} \quad E_{\text{Bm}}(\rho) = 0.109 + 0.671 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$E_{\text{Bm}} = I_{\text{em}} \frac{10^{-\alpha^2 \left[\left(\frac{1}{\alpha\rho} \right)^2 + i \frac{1}{\alpha\rho} \right] e^{-i\omega\rho} \cos(\theta)}}{4 \pi} \quad k_5 := \frac{1}{\rho^3} \quad k_5 = 3.125 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2}$$

$$k_6 := \frac{i \alpha}{\rho} \quad k_6 = 1.964 \cdot 10^{-3} i \text{ m}^{-1}$$

$$k_7 := \text{Im}(k_5 + k_6) \quad k_7 = 3.125 \cdot 10^{-4} + 1.964 \cdot 10^{-3} i \quad k_8 := k_7 \omega^{-1} \quad k_8 = 3.125 \cdot 10^{-4} + 1.964 \cdot 10^{-3} i$$

$$k_9 := \text{Im} \frac{k_8}{4 \pi} \quad k_9 = 2.902 \cdot 10^{-4} + 1.824 \cdot 10^{-3} i \text{ m}^{-1} \quad k_{10} := k_9 \cos(\theta)$$

$$k_{10} = 2.902 \cdot 10^{-4} + 1.824 \cdot 10^{-3} i \quad E_{\text{Bm}}(\rho) := k_{10}$$

$$E_{\text{Bm}}(\rho) = 2.902 \cdot 10^{-4} + 1.824 \cdot 10^{-3} i \text{ m}^{-1} \cdot \text{A} \quad E_{\text{Bm}}(\rho) := W_0 \cdot E_{\text{Bm}}(\rho)$$

$$E_{\text{Bm}}(\rho) = 0.109 + 0.6871 \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad |E_{\text{Bm}}(\rho)| = 0.696 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$E_{\text{Bm}}(\rho) = 0.109 + 0.671 \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad |E_{\text{Bm}}(\rho)| = 0.679 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$E_{\text{Bm}}(\rho) := \sqrt{(\text{Re } E_{\text{Bm}}(\rho))^2 + (\text{Im } E_{\text{Bm}}(\rho))^2} \quad E_{\text{Bm}}(\rho) = 0.96 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$\text{Prad} := 4 \pi \langle E_{\text{Bm}}(\rho) \rangle^2 \frac{\rho^3}{2 \cdot W_0} \quad \text{Prad} = 49.133 \text{ W}$$

представляет собой в основном приём — передающую антенну для ВЧ диапазона, относящуюся к Антеннам типа МГД, хотя из за наличия в её конструкции медного стержня внутри её магнитопровода, через который проходит антенный ток, обладает свойствами,

относящимися в некотором смысле к ВЧ антеннам типа ЭГД, что не может не внести вклад и в её эффективность и её диаграмму направленности.

После того, как будет возможно (летом) провести её тест в данном любительском диапазоне, когда вблизи места её установки на АПУ не будет расположена иная антенна, станет возможным с достаточной достоверностью определить её диаграмму направленности в горизонтальной плоскости и реальную величину излучаемой ею в эфир мощности

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
- 7.
- 8.
- 9.
- 10.
- 11.