Об особенности испытания одно и много модульных моделей ЛМА для СДВ диапазона электромагнитных волн

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

1. Конструктивные особенности Передающих Линейных Магнитных Антенн (ЛМА) ав-тором изложены подробно в работе [1]. Подробное изложение принципа их функционирования автором приведено в статях [2, 3].

2. Практическое применение ЛМА может быть осуществлено либо в виде одно- или в много модульном варианте, как это описано в статьях [4, 5, 6, 7, 8] при описании «шести-модульной» модели, или одномодульной модели ЛМА№ 20м1.

На Фото.1 представлен в качестве примера, вид модели ЛМА№ 11 без внешнего герметичного кожуха, входящего в состав «шестимодульной» модели (см. Фото.2.), ранее упомянутой в статье [4].

Фото.1 Модель ЛМА№ 11.

Фото.2. «Шестимодульная» модель в составе моделей: ЛМА№ 11, 12, 13, 14, 15 и 16 в герметичных кожухах.

Как показано на Фото.1 на цилиндрическом диэлектрическом каркасе, плотно надетым на цилиндрическое тело магнитопровода по всей его длине, в его центральной части раз-мещён соленоид обмотки тока Ia «возбуждения» продольного моно гармоничного магнитного потока

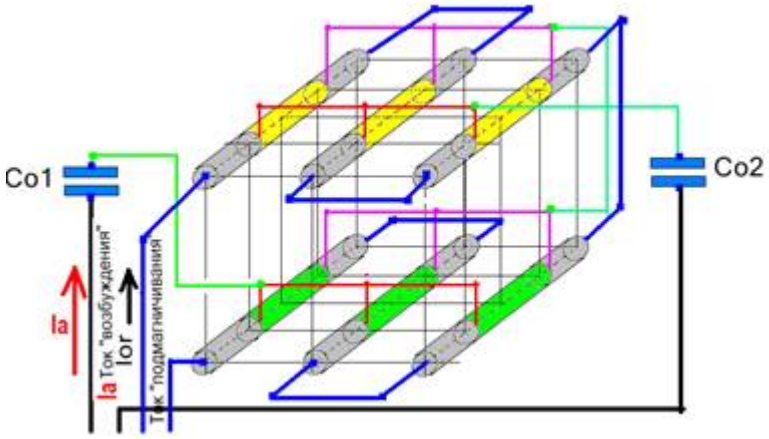
на несущей частоте f , состоящая из N витков плоского кабеля как правило, двух жильного, с заданной величиной сечения его проводников. Цилиндриче-ской формы ферритовый магнитопровод обладает вдоль центральной продольной оси цилиндрической формы каналом, через который прокладывается кабель питания посто-янного тока «подмагничивания» Ior, создающего постоянный круговой магнитный поток в теле магнитопровода в перпендикулярной его продольной оси («поперечной») плоскости. Ферритовый материал магнитопровода обладает заданными характеристика-ми, такими как магнитная проницаемость μ, Коэрцитивная сила Hc, Индуктивность насыщения Bs, и пр. По этому существование величины Bs накладывает ограничение в ряде случаев на возможность использования одно модульной модели ЛМА.

3. При рассмотрении возможных вариантов построения многомодульных моделей Переда-ющих ЛМА в качестве примера, рассмотрим «шестимодульную» модель ЛМА, пред-ставленной на Фото.2.

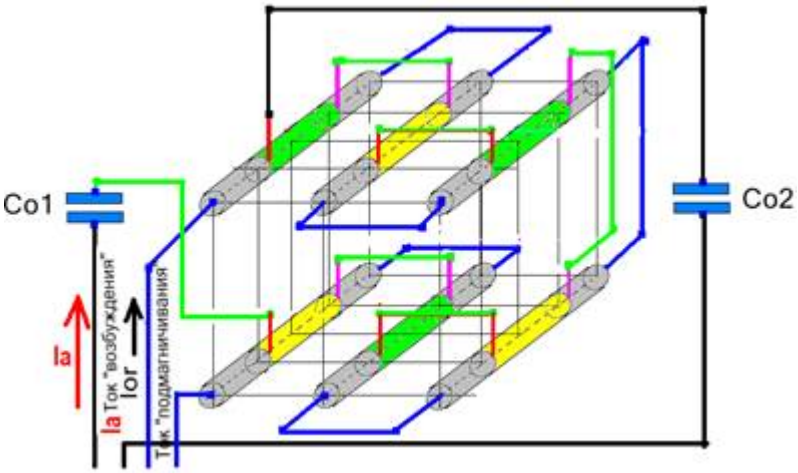
Итак она состоит из 6 моделей ЛМА, обмотка соленоида тока Ia «возбуждения» выпол-нена плоским двух жильным проводом. В силу векторного характера напряжённости Ha

продольного магнитного поля тока Ia "возбуждения«от направления (левосторонней или правосторонней) намотки, при организации соединения обмоток тока «возбужде-ния» «ушестерённой» модели могут применяться различные варианты использования

моделей ЛМА с различным способом намотки: по часовому и против часового направле-ния. Для простоты на Фиг.1 и Фиг 2 показана два различных способа соединения обмо-ток «возбуждения» используемого в мобильном исполнении «ушестерённой модели», представленной на Фото.2.



Фиг.1 Параллельно — последовательное соединение обмоток «возбуждение» и после-довательное соединение обмоток «подмагничивания».



Фиг.2. Последовательное соединение обмоток «возбуждения и обмоток „подмагничи-вания“.

На Фиг. 1 и Фиг.2 разным цветом обозначены соленоиды „возбуждения“ с различным направлением намотки при сохранении одинакового расположения начала (конца) намотки. Вариант Фиг. 1 использован в мобильной „ушестерённой модели“ Фото.2 для излучения на частотах в диапазоне 24 КГц — 26 КГц при значение величины резонансно-го конденсатора Со = 47.16 Нано Фарад.

Вариант Фиг.2 для использования тех же моделей соответственно с другими значениями величины конденсатора Со для диапазона частот 12 КГц — 7 КГц.

Следует иметь в виду, что соленоиды „возбуждения“ каждой из моделей, обмотки кото-рых выполнены плоским двух проводным кабелем заданного сечения их проводов, обра-зуют как бы два соосно расположенных соленоида, обмотки которых возможно согласо-ванно последовательно или параллельно соединять. Именно параллельное соединение проводов обмоток „возбуждения“ каждой из ЛМА использовано в варианте исполнения „ушестерённой модели“, представленной на Фото.2».

4. На Фото. 5, 6, 7 представлены составные части «испытательного стенда» для теста «ушестерённой модели», размещённой в «прицепе» (см Фото.3) и одиночной модели ЛМА№ 20м1 (см. Фото.4), размещённых вне лабораторного помещения в реальных усло-виях.

Фото.3 Вид мобильной передающей «ушестерённой модели» ЛМА.

Фото.4.Вид передающей модели ЛМА№ 20м1.

Длина фидера питания «ушестерённой модели» Фото.3 порядка 25 м, тогда как длина фидера питания модели ЛМА№ 20м1 составляет 14 м.

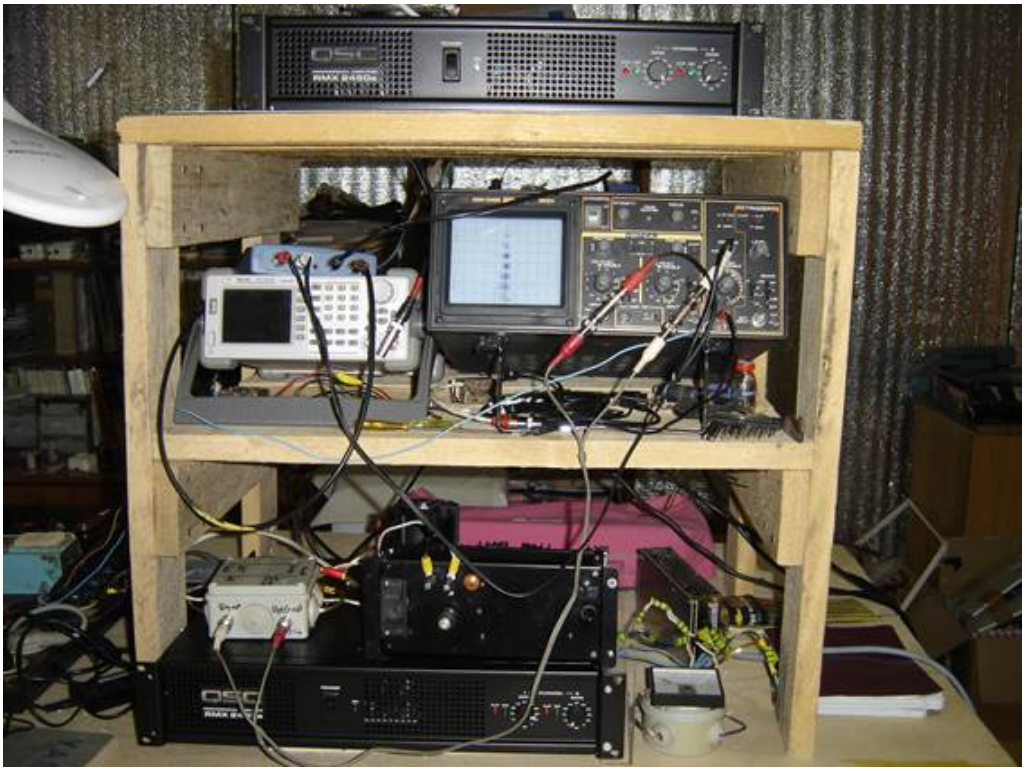


Фото.5.

Фото.6.

На Фото. 5 в верху расположен УМ№ 1 типа RMX 2450s для подачи тока «возбуждения»

Фото.7.

на «ушестерённую модель» ЛМА (см.Фото.3). Ниже на полке слева функциональный генератор (ФГ) типа АКИП 3408/1, обеспечивающий подачу на вход УМ синусоидального сигнала требуемой величины Uin с несущей частотой f . Справа от него размещён анало-говый двух канальный осциллоскоп.

В самом низу слева размещён УМ № 2 типа RMX 2450s для подачи тока «возбуждения» на модель ЛМА№ 20м1 (см.Фото.4). С права от него размещён электродинамический Амперметр

(постоянного тока "подмагничивания«(ЭДА) для упомянутых выше моде-лей ЛМА. Левее ЭДА на УМ№ 2 расположен собственноручно разработанный и изготов-ленный Регулятор постоянного тока «подмагничивания» (РПТП) для моделей ЛМА. РПТП позволяет плавно вручную установить для модели ЛМА нужное значение тока «подмагничивания» Ior по показаниям ЭДА в пределах от 0 А до 10 А. Левее РПТП рас-положена Пластиковая Измерительная коробка (ПИК) для мониторинга спектральной плотности и величины напряжения Urt(Rt=0.05 Ом), пропорционального величине то-ка «возбуждения» Ia и напряжения Utr.out на выходе согласующего трансформатора (СТ) модели ЛМА№ 20м1.

На Фото.6 в правом верхнем углу на ФГ расположен синего цвета корпус Виртуального четырёх канального 12 бит АКП Осциллоскопа — Спектра Анализатора АКИП 4110/1. При тесте «ушестерённой модели» ЛМА осуществляется с помощью ноутбу-ка мониторинг величины входного напряжения Uin. УМ№ 1, величины напряжения Urt(Rt=0.0125 Ом) , пропорционального величине тока «возбуждения» Ia, и напряже-ний Uout1 и Uout2 на выходе каждого из двух его каналов. При тесте модели ЛМА№ 20м1 виртуальный измеритель АКИП 4110/1 и этот ноутбук позволяют осу-ществлять мониторинг величины напряжения Urt(Rt=0.05 Ом), пропорционального ве-личине тока «возбуждения» Ia, напряжения Utr.out на выходе согласующего транс-форматора (СТ) модели ЛМА№ 20м1 и напряжений Uout1 и Uout2 на выходе каждого из двух каналов УМ№ 2.

На Фото.7 на штативе размещён Портативный Анализатор Спектра типа АКИП-4210/3 для измерения электрической E или магнитной H составляющей электромагнит-ного поля (ЭМП). Он имеет встроенную, расположенную горизонтально параллельно нижней кромки его дисплея для измерения E электрического типа диполь, а так же для измерения H имеет микро трёхмерную приёмную магнитного тип систему рамочных антенн: Hx -составляющая направлена параллельно нижней кромке его дисплея, Hy -составляющая направлена параллельно боковой кромке его дисплея, а Hz- составляющая направлена перпендикулярно плоскости его дисплея.

Правее АКИП-4210/3 находится собственноручно разработанная и изготовленная автором модель приёмной пассивной ферритовой антенны типа МА№ 2 для регистрации электро-магнитных сигналов (ЭМС) в пределах частот 20 КГц — 80 КГц. В самом верху Фото.6 можно видеть нижнюю кромку приёмной пассивной Рамочной квадратной антенны ЛА№ 2 для регистрации ЭМС того же диапазона частот (длина стороны которой равна 50 см и обмотка её содержит 25 витков). На измерителе Hp 3581A «Wave Analyzer» можно видеть синего цвета корпус Виртуального двухканального канального 16 бит АКП Ос-циллоскопа — Спектра Анализатора АКИП 4110/4, который используется для монито-ринга спектральной плотности и величины уровня ЭМС, регистрируемых упомянутыми пассивными приёмными антеннами.

5. Порядок проведения первичного подготовительного этапа теста модели передающих ЛМА, подобных ЛМА№ 11, 12, 13, 14, 15, 16 и 20м1.

Рассмотрим предварительные этапы подобного теста на примере подготовки к тесту мо-дели ЛМА№ 20м1. Так как магнитопровод цилиндрической формы каждой из моделей ЛМА состоит из деталей ферритового материала, как это можно видеть на Фото.8, то для силовых магнитных линий продольного магнитного потока он является «разо-мкнутым», по этому очень важно определить его относительную величину магнитной проницаемости μ эфф. для такого «разомкнутого» магнитопровода.

Фото.8.

Для чего требуется сначала определить основные электрические параметры обмотки соленоида «возбуждения», размещённой в средней части диэлектрического каркаса данной модели ЛМА с помощью «L — C — R моста», например, такого типа , вид

Фото.9.

которого представлен на Фото.9 в момент измерения основных электрических характе-ристик соленоида тока «возбуждения» продольного магнитного поля, находящегося на диэлектрическом каркасе модели ЛМА№ 20м1, внутри которого отсутствует магнитопро-вод.

В Таблицу № 1 сведены измеренные на частоте 1 КГц с помощью данного "L — C — R мо-ста"основные параметры обмотки «возбуждения в отсутствии и присутствии внутри него магнитопровода, а также электрические характеристики обмотки «подмагничивания». На Фото.10

момент измерения параметров обмотки «подмагничивания», когда модель ЛМА№ 20м находилась в собранном без внешней герметичной оболочке виде.

Фото.10. Измерение параметров обмотки «подмагничивания» модели ЛМА№ 20м1.

Внешний вид в герметичной оболочке собственноручно разработанной и изготовленной автором модели ЛМА№ 20м1 представлен на Фото.11.

Фото.11.

Таблица 1.

Индуктивность	Потери	Добротность	Индуктивность	Потери	Добротность

L1o=34.8 мкГн	r =0.102Ом	Q=3.048	Lo2=35.6 мкГн	r=0.102	Q=2.197
L1a=1.513 мГн	r =0.15 Ом	Q=63.8	L2a=1.513 мГн	r =0.15 Ом	Q=63.8
La=6.048 мГн	r =0.431 Ом	Q=90.4	Lp=0.479 мГн	r =0.274Ом	Q=10.75

Где L1o и L2o индуктивность, образованная каждой из жил обмотки соленоида «возбуж-дения в отсутствии магнитопровода, а L1a и L2a — в присутствии магнитопровода. La — индуктивность соленоида «возбуждения» при согласованном последовательном соедине-ние образованных обмоток каждой из двух его жил. Lp — индуктивность обмотки «под-магничивания».

5.1. Определяется предполагаемое значение резонансных конденсаторов Co1 и Co2 цепи последовательного резонанса тока «возбуждения» (см. Фиг.1) для значения в близи требу-емой частоты несущей f. При параллельном соединении обмоток жил соленоида «возбуж-дения» $Co1 = Co2 = 1/(4\pi^2 f^2 1/(\frac{L1aL2a}{L1a + L2a}))^{-1}$, таким образом величина резонансной ёмко-сти C последовательного резонанса в два раза меньше значения Co1 или Co2. Для ча-стоты fo = 49.5 КГц C=6.833 нФ.

5.2. а) Определяем предполагаемые параметры согласующего трансформатора (СТ).

Возможное сопротивление нагрузки Rnn УМ типа RMX 2450s при работе в режиме со-единения выходов его двух каналов по «мостовой схеме» находится в пределах от 4 Ом до 8 Ом (допускается использование нагрузки 16 Ом).

Полагаем, что «балансный выход» УМ данного типа обладает Rnn=8 Ом.

б) Определяем ожидаемое значение активного сопротивления потерь собственно антен-ного Модели ЛМА№ 20м1 (последовательного резонанса) контура тока «возбуждения» для частоты f = 49.5 КГц. Тангенс угла потерь используемых конденсаторов Co1 и Co2 не хуже 5*10 –4. Так как C = 6.833 нФ, то его реактивное сопротивление XC =1/2π f C = 471 Ом, поэтому сопротивление потерь в резонансных конденсаторах составит величину rc=0.24 Ом. Поскольку измеренное значение добротности обмотки соленоида «возбужде-ния» на частоте 1 КГц равно 63.8 можем предположить, что на частоте 49.5 КГц её вели-чина будет меньше. Можем предположить, что Q=40, поэтому rL=471/40=11.8 Ом. Поте-ри в 14 м фидере с сечением его проводников 2.5 кв. мм могут составить величину по-рядка 2.5 Ом, поэтому общие активные потери rn порядка 14.54 Ом.

в) Определим коэффициент трансформации СТ. Ктр=(rn/ Rnn)0.5 =1.35

г) Определим величину индуктивности L1tr первичной обмотки требуемого повышаю-щего согласующего трансформатора для резонансной цепи контура тока "возбуждения.

L1tr=10 Rnn/2π f =0.462 мГн, тогда как индуктивность L2tr вторичной обмотки СТ опре-деляется по формуле L2tr =L1tr Ктр2=0.842 мГн.

Следует отметить, что собственноручно изготовлены автором резонансные конденсаторы Co1 и Co2 обладают электрическими характеристиками, приведённые в Таблице № 2 при этом C= 6.144 нФ. Там же приведены характеристики изготовленного автором со-гласующего трансформатора с применением Ферритового сердечника типа PM87*70.

Таблица 2

C01= Co2 =12.29 нФ	***Амплитуда протекающего тока не более 16 А***	***Допустимое переменное напряжение не более 8 КВ.***	***Co1 и Co2 вмещены в две герметичные оболочки диаметром 5 см и длиной 20 см.***
L1tr	**0.719 мГн**	***L2tr***	**0.922 мГн**

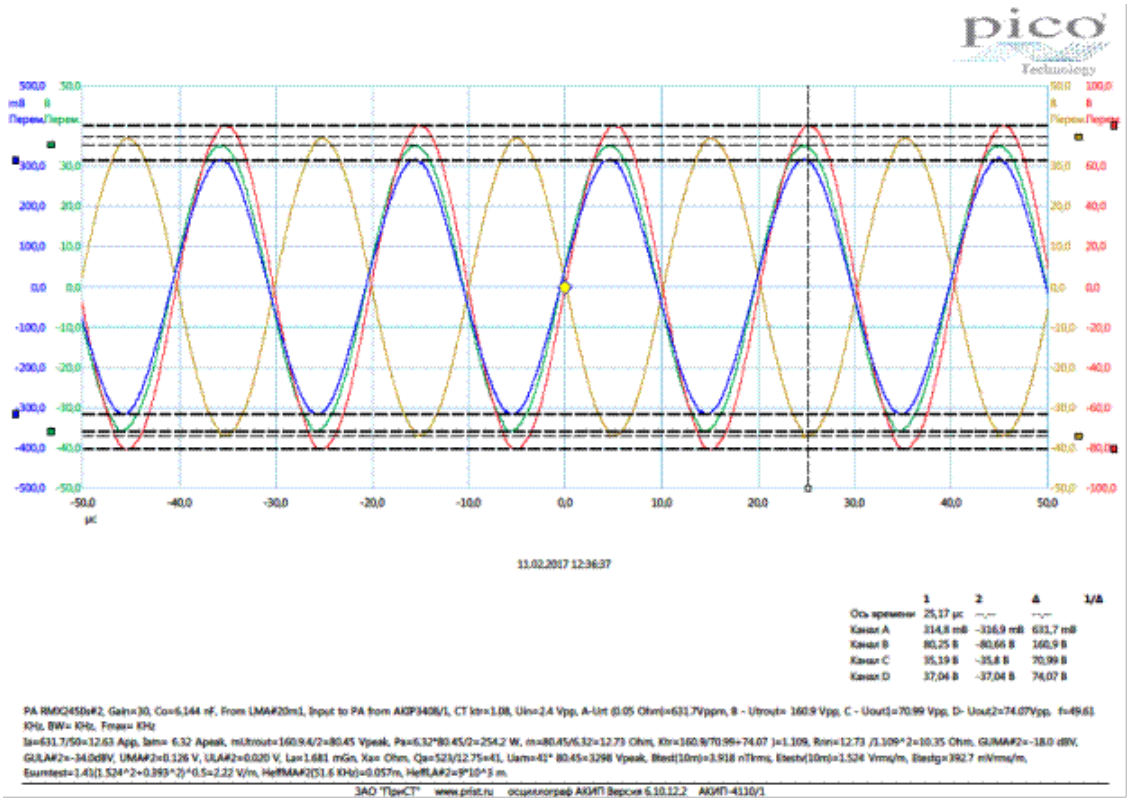
6. Целью настоящей работы и является определение истинные характеристик резонанс-ной цепи "тока возбуждения«и допустимой величины подводимой мощности по 14 м фи-деру к одиночной модели ЛМА№ 20м1 на частоте несущей порядка 49,5 КГц когда она вместе с резонансными конденсаторами находится вне лабораторного помещения (см. Фото.4.) на расстоянии порядка 10 м в реальных условиях Зимы в Московской области. Ниже приведены Фото и графики. относящиеся к процессу собственно проделанного те-ста модели ЛМА№ 20м1, обсуждаемого далее.

Фото.12.

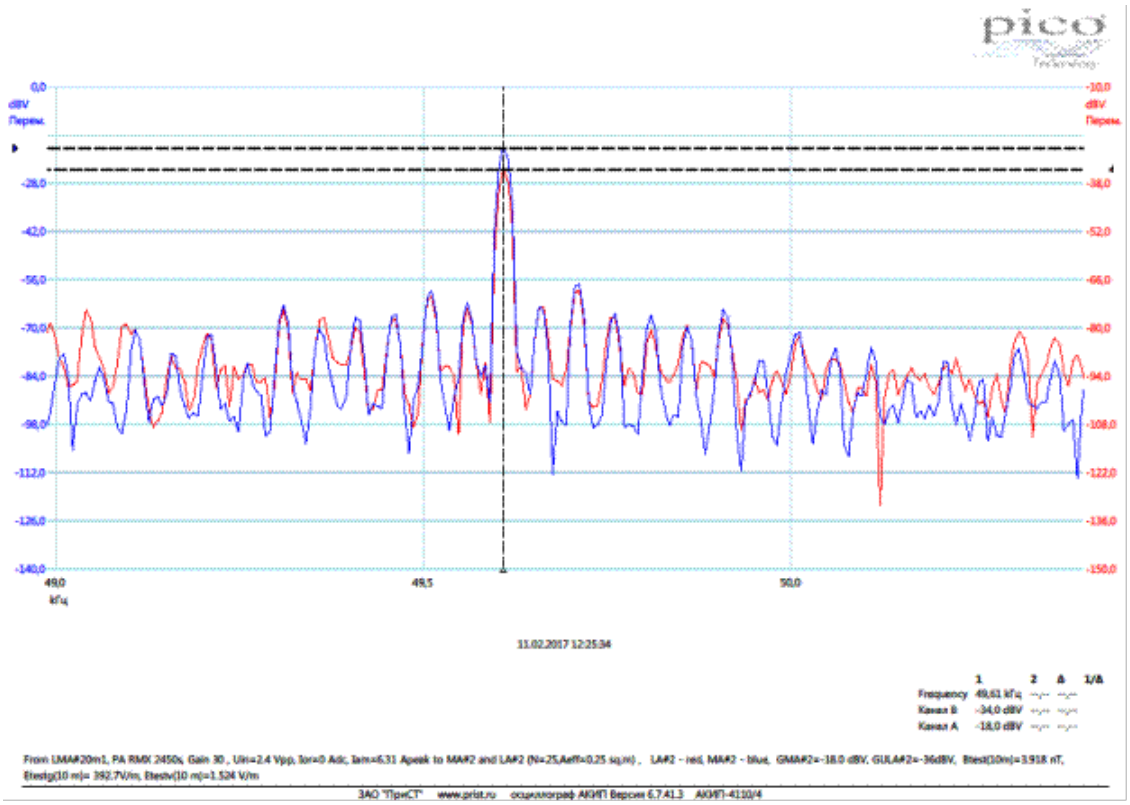
Фото.13.

Фото.14.

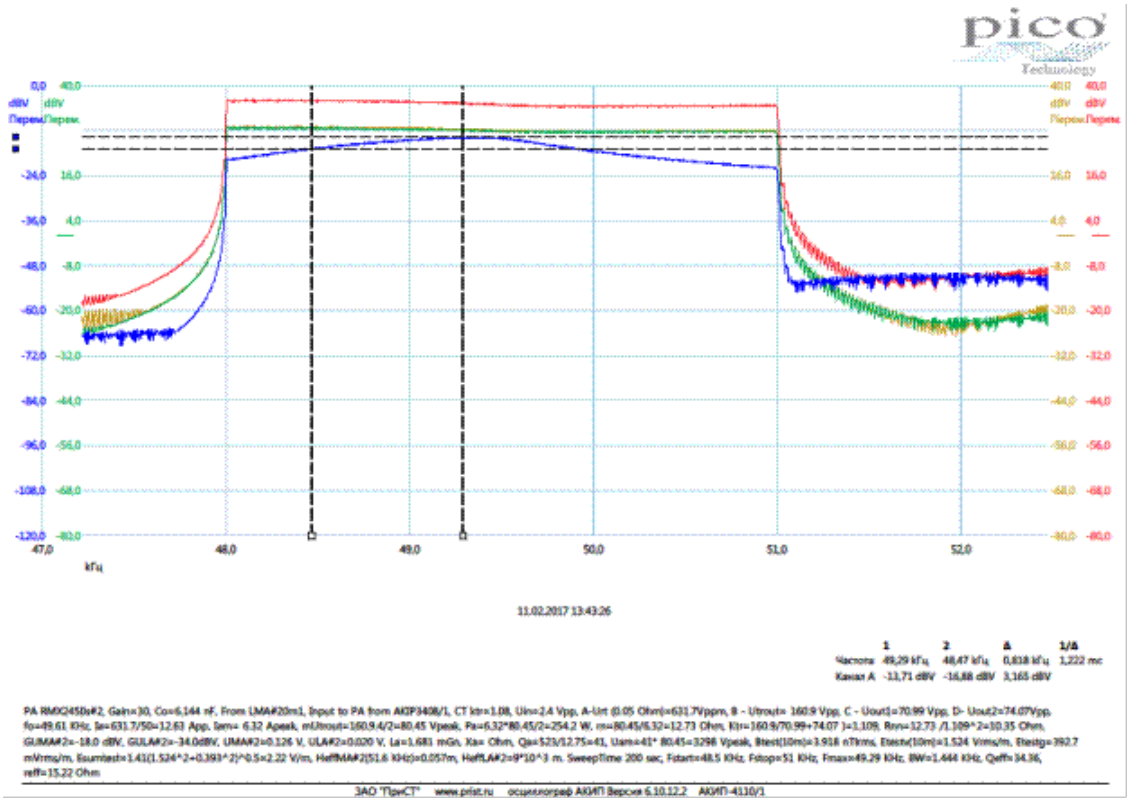
Фото.15


pico
Technology
11.02.2017 12:36:37
ЗАО "ПринСТ" www.prist.ru осциллограф АКИП Версия 6.10.12.2 АКИП-4110/1

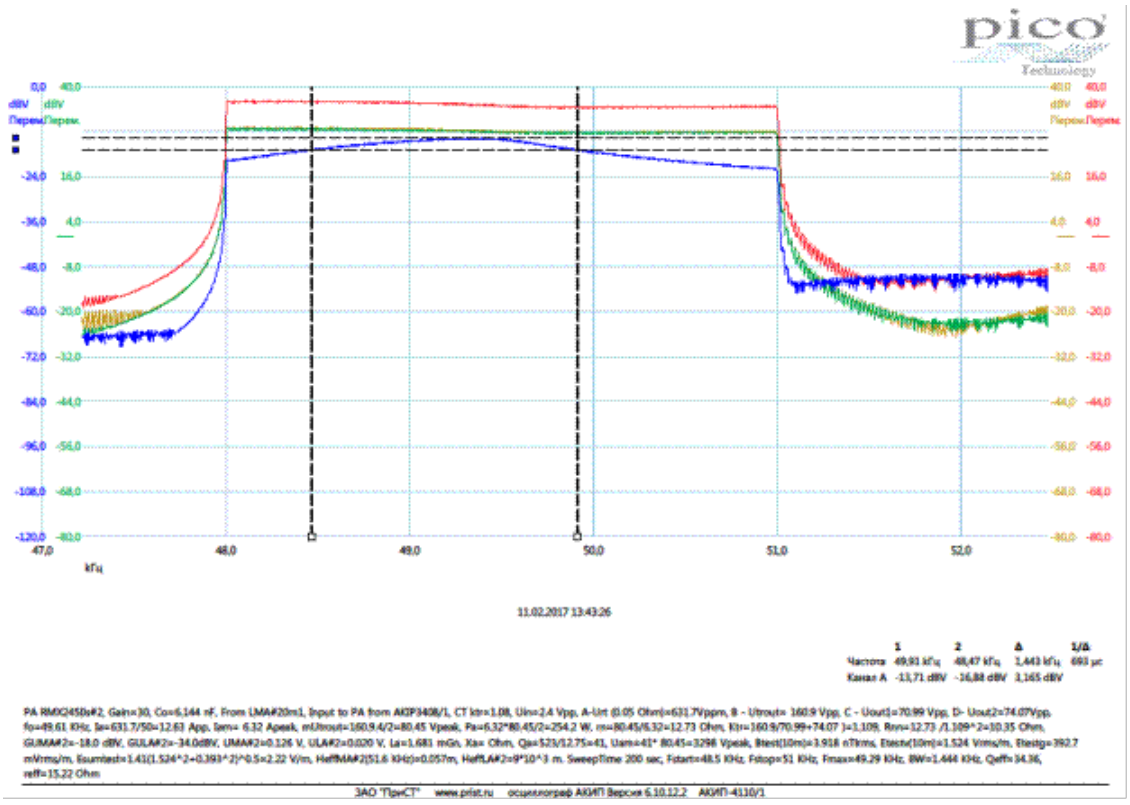
Фиг.3.


pico
Technology
11.02.2017 12:25:34
ЗАО "ПринСТ" www.prist.ru осциллограф АКИП Версия 6.7.41.3 АКИП-4110/4

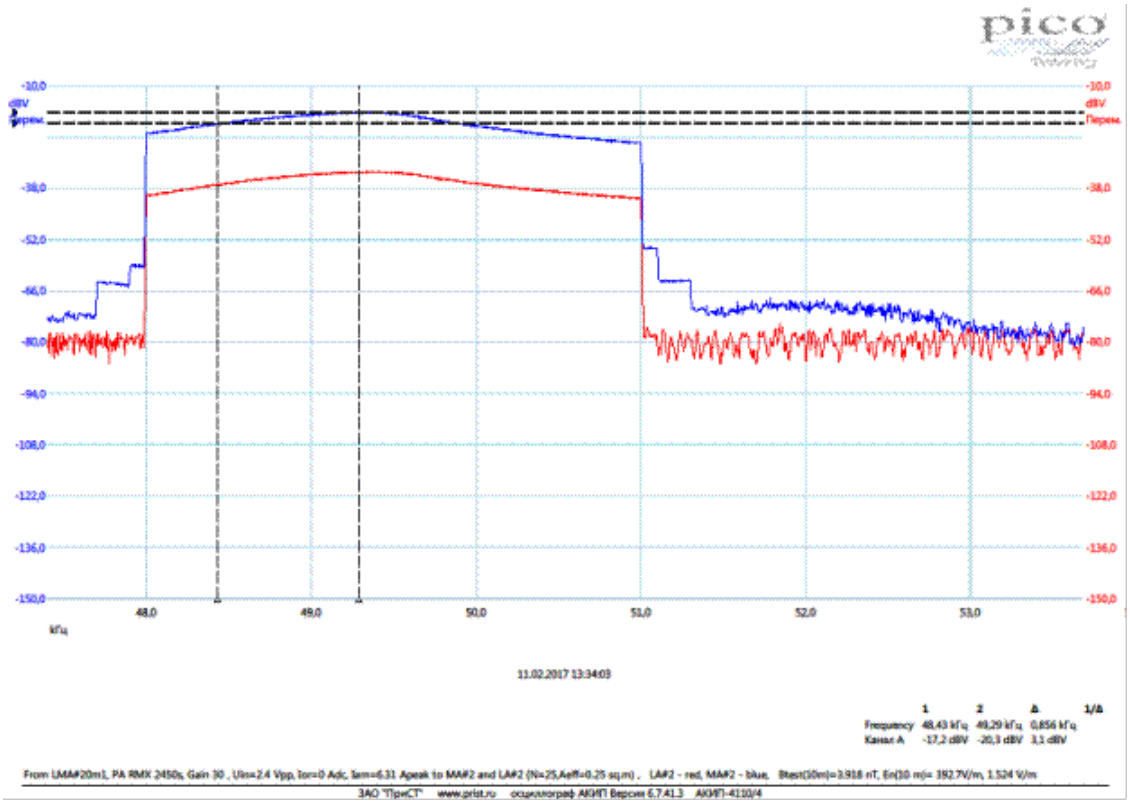
Фиг.4.


pico
Technology
dBV
Перем.
47,0
48,0
49,0
50,0
51,0
52,0
кГц
11.02.2017 13:43:26
1
2
Δ
1/Δ
Частота 49,29 кГц 48,47 кГц 0,818 кГц 1,222 мс
Канал А -13,71 dBV -16,88 dBV 3,165 dBV
ЗАО "ПриСТ" www.prist.ru осциллограф АКИП Версия 6.10.12.2 АКИП-4110/1

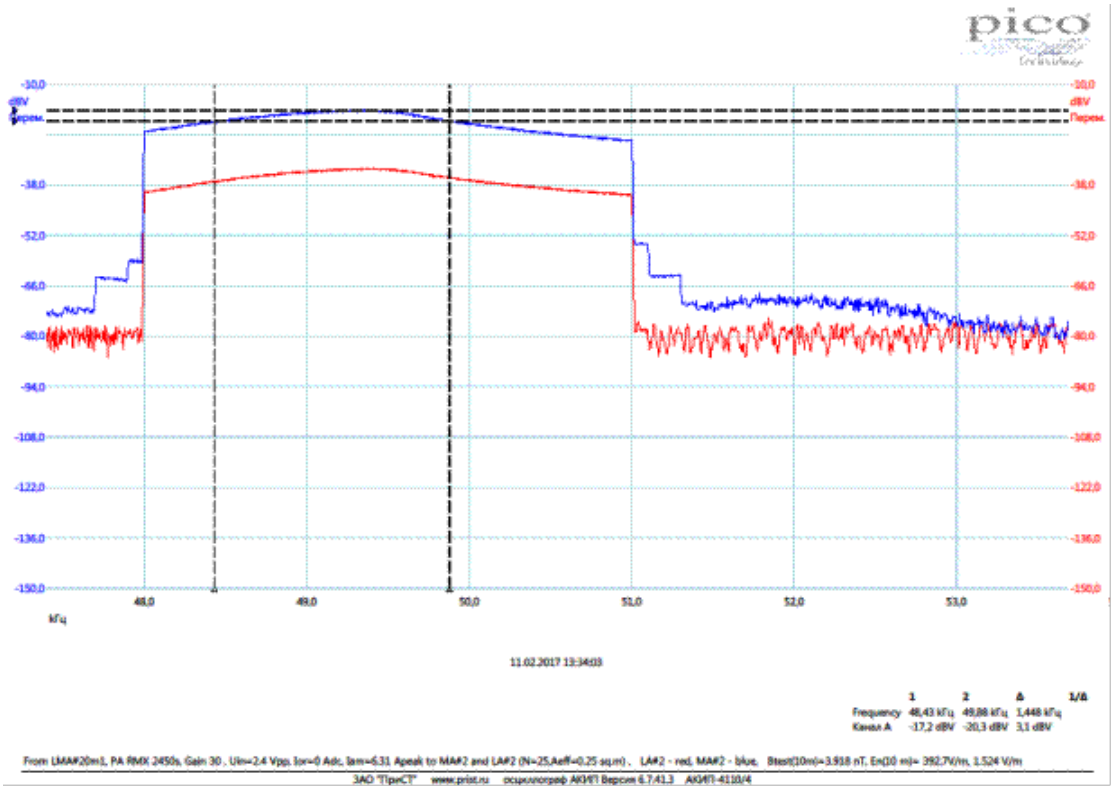
Фиг.5.


pico
Technology
dBV
Перем.
47,0
48,0
49,0
50,0
51,0
52,0
кГц
11.02.2017 13:43:26
1
2
Δ
1/Δ
Частота 49,93 кГц 48,47 кГц 1,443 кГц 693 µс
Канал А -13,71 dBV -16,88 dBV 3,165 dBV
ЗАО "ПриСТ" www.prist.ru осциллограф АКИП Версия 6.10.12.2 АКИП-4110/1

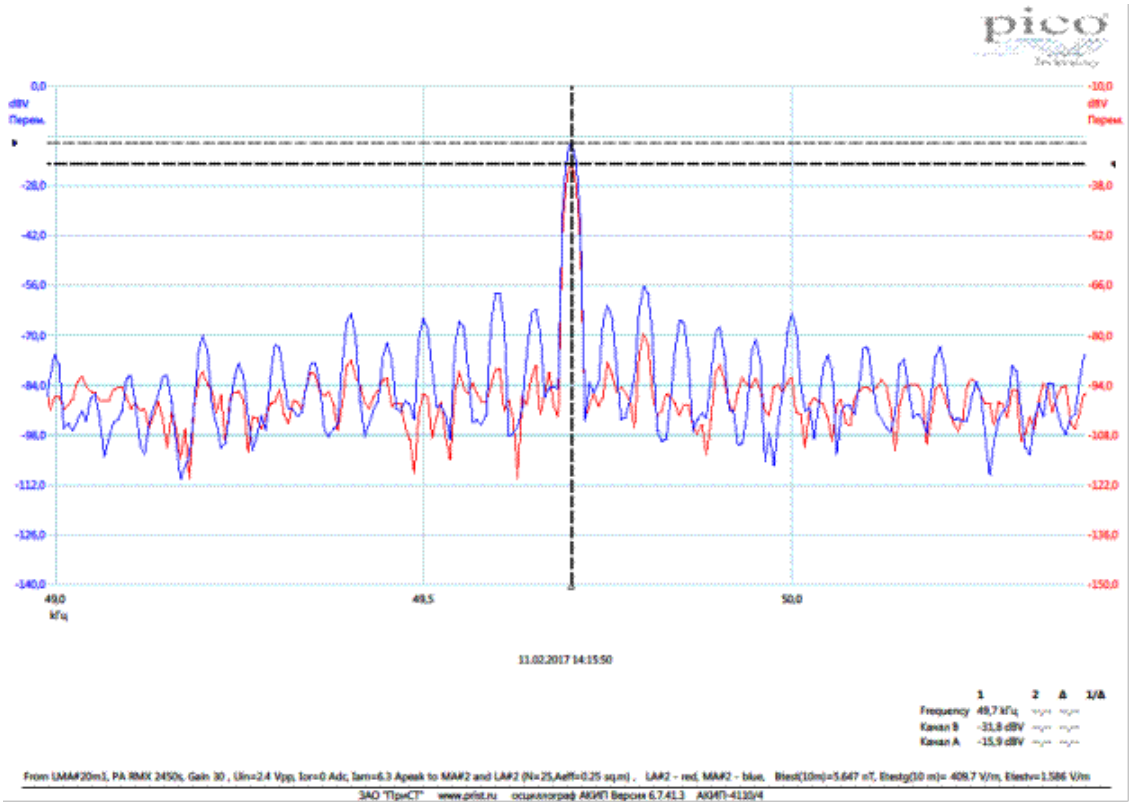
Фиг.6.


pico
-10,0
dBV
Перем.
-38,0
-52,0
-66,0
-80,0
-94,0
-108,0
-122,0
-136,0
-150,0
48,0
49,0
50,0
51,0
52,0
53,0
кГц
11.02.2017 13:34:03
1
2
Δ
1/Δ
Frequency 48,43 кГц 49,29 кГц 0,856 кГц
Канал А -17,2 dBV -20,3 dBV 3,1 dBV
From LMA#20m1, PA RMX 2450s, Gain 30 , Uin=2.4 Vpp, Ior=0 Adc, Iam=6.31 Apeak to MA#2 and LA#2 (N=25,Aeff=0.25 sq.m) . LA#2 - red, MA#2 - blue, Btest(10m)=3.918 nT, En(10 m)= 392.7V/m, 1.524 V/m
ЗАО "ПриСТ" www.prist.ru осциллограф АКИП Версия 6.7.41.3 АКИП-4110/4

Фиг.7.


pico
-10,0
dBV
Перем.
-38,0
-52,0
-66,0
-80,0
-94,0
-108,0
-122,0
-136,0
-150,0
48,0
49,0
50,0
51,0
52,0
53,0
кГц
11.02.2017 13:34:03
1
2
Δ
1/Δ
Frequency 48,43 кГц 49,88 кГц 1,448 кГц
Канал А -17,2 dBV -20,3 dBV 3,1 dBV
From LMA#20m1, PA RMX 2450s, Gain 30 , Uin=2.4 Vpp, Ior=0 Adc, Iam=6.31 Apeak to MA#2 and LA#2 (N=25,Aeff=0.25 sq.m) . LA#2 - red, MA#2 - blue, Btest(10m)=3.918 nT, En(10 m)= 392.7V/m, 1.524 V/m
ЗАО "ПриСТ" www.prist.ru осциллограф АКИП Версия 6.7.41.3 АКИП-4110/4

Фиг.8.



Фиг.9.

6.1. Исходя из содержания Фиг.3, 4, 5, 6

а) На расстоянии примерно 10 м от модели ЛМА№ 2м1 Антенной МА№ 2 (см. Фото.12, Фиг.3, 4) был зарегистрирован уровень сигнала GUMA#2 = - 18 dBV. Это означает, что на частоте 49.61 КГц зарегистрирован ей сигнала с амплитудным значением выходного напряжения МА№ 2 UМА№ 2 = 0.126 В. При этом с ФГ на вход УМ№ 2 был подан сиг-нал с амплитудным значением Uin = 1.2 В. При усилении УМ№ 2 равном 30 dB (т.-е. равным 31.62) на первичную обмотку согласующего трансформатора (ТС) поступило напряжение с амплитудным значением Uout =72.53 В. Со вторичной обмотки ТС на фидер, идущий в направлении к передающей антенне ЛМА№ 20м1, поступило напряже-ние с амплитудным значением Utr.out =80.45 В. Протекающее по жилам фидера ампли-тудное значение тока «возбуждения» Iam = 6.32 А. Потребляемая передающая антенной ЛМА№ 20м1 мощность Ра = 254.2 Ватт. Она представляет из себя в момент резонанса для СТ нагрузку, равную активному сопротивлению rn = 12.73 Ом. В момент данного измерения факт (см. Фиг.3) совпадения фазы напряжения Urt(Rt=0.05 Ohm) (кривой си-него цвета первого канала АКИП-4110/1) и кривой напряжения Utr.out (красного цвета второго канала АКИП-4110/1) и является свидетельством существования соотноше-ния собственной частоты антенного контура fo с частотой несущей f = 49.61 КГц. Что делает возможным на частоте резонанса fo=49.61 КГц определить значение индук-тивности La соленоида «возбуждения», зная величину конденсаторов Со1 и Со2 в резо-нансной цепи тока «возбуждения». La = 1.675 мГн.

б) Определение величины La на данной частоте несущей f = 49.61 КГц даёт возможность определить при заданном амплитудном значении тока Iam = 6.32 А, протекаемого по соленоиду «возбуждения» продольного магнитного потока, эффективное значение маг-нитной проницаемости μэфф разомкнутого для силовых магнитных линий магнитопро-вода передающей антенны ЛМА№ 20м1.

$$\mu эфф = \frac{La}{Lo} = 1.675 \text{ мГн} / 35.2 \text{ мкГн} = 47.58 \quad (6.1 — 1)$$

в) С целью определения эффективного значения магнитной индукции Втест (10 м) в месте расположения приёмной антенны МА№ 2 (см. Фото.14) с помощью Анализатора спектра АКИР — 4210/3 его потребовалось повернуть во круг виртуальной вертикальной оси таким образом, чтобы плоскость передней его панели была параллельна направлению продольной оси модели МА№ 2, ориентированной в направления максимального уровня принятого им сигнала. Исходя из данных Фиг. 3, 4:Втест (10 м)=3.918 нТл. (6.1 — 2)

г) С целью определения эффективного значения вертикальной составляющей напряжённости электрического поля ЭМП вЕтест(10 м) потребовалось (см. Фото.12 и Фо-то.13) повернуть корпус АКИР — 4210/3 на 90 градусов в вертикальной плоскости. На ос-нове данных Фиг.3 и Фиг.4 вЕтест(10 м)= 1.524 В /м. (6.1 — 3)

Тогда как для измерения истинного эффективного значения горизонтальной составля-ющей напряжённости электрического поля гЕтест(10 м) такого поворота корпуса АКИР — 4210/3 не потребовалось.

На основе данных Фиг.3 и Фиг.4 гЕтест(10 м)= 392.7 мВ /м. (6.1 — 4)

Поэтому амплитудное значение Е(10 м)тест электрической составляющей напряжённо-сти ЭМП может быть определено как

Е(10 м)тест = 1.41 (вЕ2 тест(10 м)+ гЕ2 тест(10 м)) 0.5 =2.22 В / м (6.1 — 5).

д. Зная величину Е(10 м)тест и UМА№ 2 = 0.126 В , можно определить значение «Дей-ствующей высоты» приёмной ферритовой Антенны ЛМА№ 20м1:

Нэфф МА№ 2 (49.5 КГц)=0.126 В / 2.22 В / м =0.057 м (6.1 — 6)

е) Основные геометрические параметры передающей антенны ЛМА№ 20м1:

Длина lm магнитопровода и каркаса — 1 м

Диаметр dm магнитопровода — 0.05 м

Диаметр dc обмотки соленоида «возбуждения» — 0.068 м

Число витков обмотки плоским двух жильным кабелем соленоида «возбуждения» N =64 ,

Длина lc соленоида «возбуждения» — 0.5 м.

ж) Можно определить амплитудное значение величины напряжённости переменного продольного магнитного поля в теле ЛМА№ 20м1

$$Hm = \frac{I_{mc} N}{2l_c} = 404.5 \text{ А / м (6.1 — 7)}$$

з) Можно определить амплитудное значение индукции продольного переменного маг-нитного поля в теле ЛМА№ 20м1

$$Bm = 4\pi H_m \mu_{эфф} 10^{-7} \text{ Тл.} = 0.0242 \text{ Тл} < Bs = 450 \text{ Тл (6.1 — 8).}$$

и) Можно вычислить в свободном пространстве теоретическое амплитудное значе-ние индукции магнитного поля В(10 м) на расстоянии 10 м от места установки модели лма№ 20м1, учитывая, что действует закон изменения величины магнитного поля обратно пропорционально кубу дистанции D:

$$B(10 \text{ м}) = B_m \left(\frac{d_c}{D = 10 м}\right)^3 = 7.61 \text{ нТл} < 1.41 \text{ Втест (10 м)} = 5.52 \text{ нТл (6.1 — 9)}$$

к) Можно вычислить теоретическое амплитудное значение электрической составля-ющей

E(10 м) напряжённости ЭМП на расстоянии 10 м в свободном пространстве от места установки передающей ЛМА№ 20м1, где Wo = 377 Ом

E(10 м) = $B_m W_o / 4\pi 10^{-7}$ =6.06 В / м > E(10 м)тест = 2.22 В / м. (6.1 — 10)

л) Дистанция границы «Ближней зоны» для частоты f = 49.61 КГц : Dгбз = λ / 2π = 964.6 м. Зная теоретическое значение E(10 м) при Iam = 6.32 А, можно вычислить теорети-ческое амплитудное значение напряженности электрического поля на дистанции в 1000 м в свободном пространстве: E(1000 м) = 10 E(10 м)/1000 =61 мВ / м (6.1 — 11),

что более, чем в 4.4 раза превышает упомянутое в статье автора [7] значение E(1000 м) = 13.8 мВ / м (6.1 — 12), при изучении распространения ЭМВ, излучаемых антенной ЛМА№ 20м1на пересечённой местности правда при амплитудном значении тока «возбуж-дения» Iam, протекаемого по её соленоиду, равному 5.25 А.

м) Необходимо определить величину полосы пропускания BW антенной цепи

модели ЛМА№ 20м1 при значении Iam = 6.32 А. Для этой цели были сняты амплитудно — частотные характеристики (АЧХ), кривые которых представлены на Фиг.5, Фиг.6, и Фиг.7, Фиг.8. На основании данных Фиг.5 и Фиг.6 установили, что для этого случая

BW = 1.44 КГц. (6.1 — 13). При этом максимальный уровень был зафиксирован на частоте f мак = 49.29 КГц. Знание величины BW позволяет определить эффективное значение добротности Qэфф = 49.61 / 1.44 = 34.45 (6.1 — 14) с целью определения эффективного зна-чения сопротивления потерь Rэфф = $\sqrt{\frac{L_a}{C_a}} / Q_{эфф}$ = 15.16 Ом > rn = 12.73 Ом (6. — 15)

Эффективного значения сопротивления потерь Rэфф характеризует ни только потери в фидере и собственно резонансной цепи тока «возбуждения» передающей антенны , но также потери в согласующем трансформаторе и в выходных элементах каналов УМ.

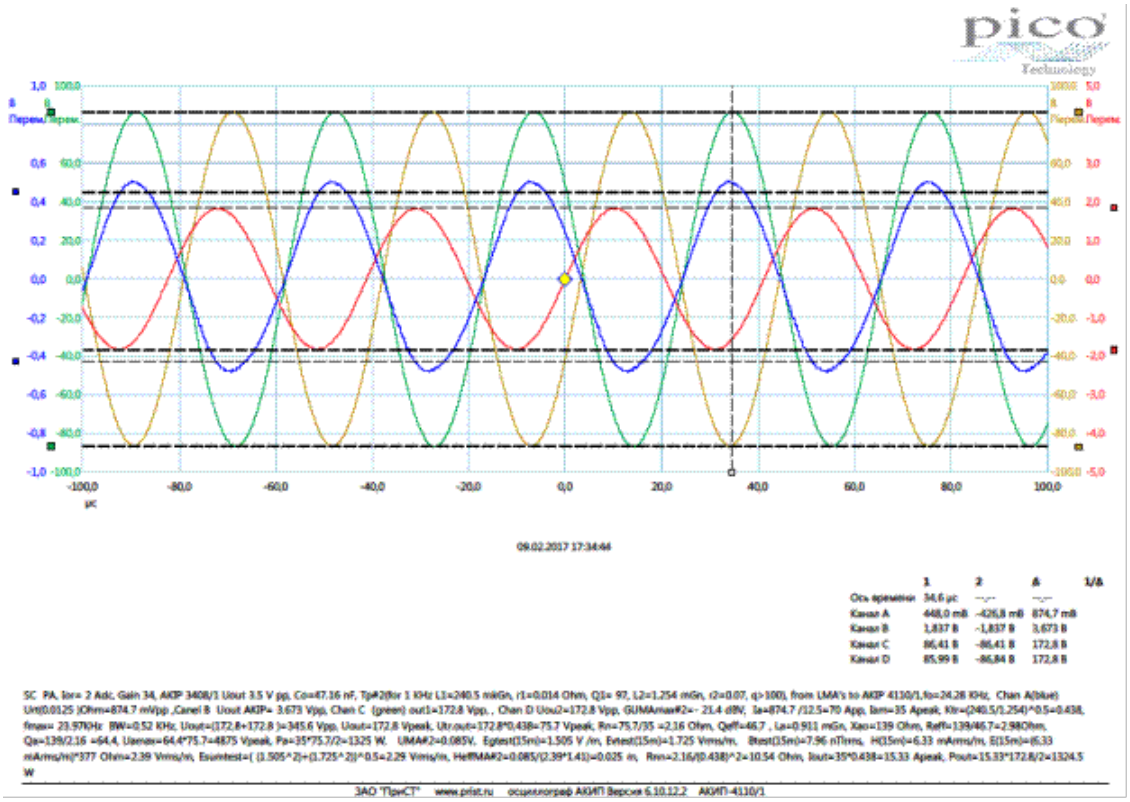
н) Следует иметь в виду при том же значении Iam с увеличением длительности подачи мощности на передающую антенну МА№ 20м2 в силу изменения температурного режима в УМ и в теле передающей антенны происходит произвольное изменение уровня излучения ЭМВ. В этом можно убедится на основе данных Фиг.9. Так например, в процессе снятия АЧХ выросло значение вЕтест(10 м)= 1.586 В /м, значение гЕтест(10 м)= 392.7 мВ /м, гЕ-тест(10 м)= 409 мВ /м, значение Втест (10 м)=5.647 нТл (см. Фото.14 и Фото.15), а так же вырос уровень зарегистрированного антенной МА№ 2 сигнала GUMA#2 = - 15.9 dBV вместо GUMA#2 = - 18 dBV .

о) Из выше изложенного убеждаемся, что модель ЛМА№ 20м1 длиной в 1м и диаметром не более 7 см может быть работоспособной на частоте порядка 49.5 КГц при подводимой к ней мощности не ниже 250 Ватт.

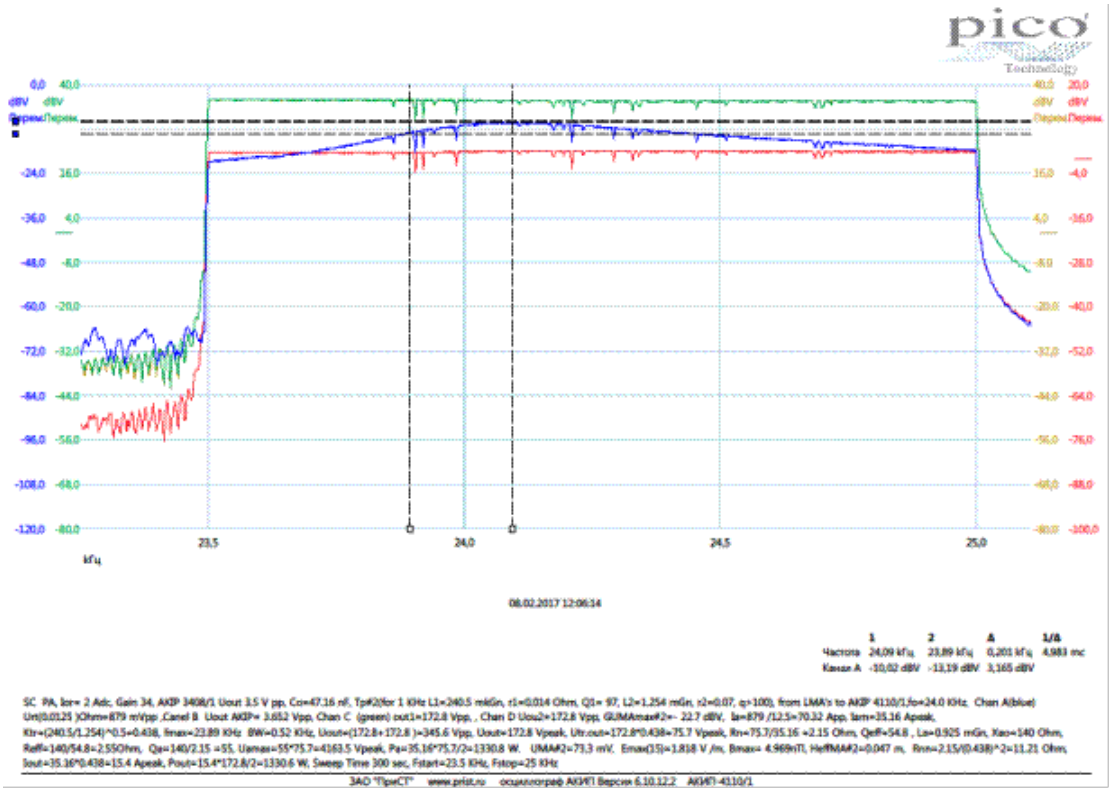
7. Модели ЛМА№ 11, ЛМА№ 12, ЛМА№ 13, ЛМА№ 14, ЛМА№ 15 и ЛМА№ 16 «Ушестерён-ная» модели ЛМА, представленные на Фото.1 и Фото.2, имеют подобный модели ЛМА№ 20м1 магнитопровод и диэлектрический каркас лишь с той разницей, что их дли-на больше на 0.5 м и отличаются числом витков и длина их соленоида больше на 0.25 м. Поэтому подводимая на частоте несущей к их соленоидам тока «возбуждения» мощность Ра может превышать 1200 Ватт и как подтверждают их испытания в обмотке их солено-идов ток может достигать величины порядка 12 А. Ниже приводятся материалы, касаю-щиеся теста «ушестерённой» модели ЛМА, схема соединения обмоток тока «возбужде-ния» и обмоток тока «подмагничивания» представлена на Фиг. 1, находящейся в «прице-пе», представленном на Фото.3.

7.1 В Таблицу 3 сведены основные параметры моделей ЛМА, используемые в «ушесте-рённой

» модели ЛМА, измеренные на частоте 1 КГц с помощью «L-C-R» моста, пред-ставленного на Фото. 9 и Фото. 10. Как и ранее измерялись в отдельности, как можно ви-деть на Фото. 9, электрические характеристик обмотки соленоида тока «возбуждения» для каждой ЛМА в случае отсутствия в диэлектрическом каркасе тела магнитопровода. В присутствие тела магнитопровода в диэлектрическом каркасе каждой из ЛМА в отдель-ности осуществлялось в месте их размещения на стенде, изображённом на Фото. 2. Сле-дует принять во внимание, что изготовленные собственноручно автором модели ЛМА№ 13, 14, 15, 16 в более позднее время абсолютно идентичны по своей конструкции (длине соленоида и числа витков его обмотки, а так же диаметра и толщины стенки и типа материала их диэлектрического каркаса) отличаются от ранее изготовленных моде-лей ЛМА№ 11 и ЛМА№ 12. При этом они расположены на данном стенде (см. Фиг.1) в следующем порядке: слева на права на верхнем уровне во ЛМА№ 11, 14, 16, а на нижнем уровне — ЛМА№ 12,13,15. Каждый из двух практически одного номинала резонансных конденсаторов Со1 и Со2, конструктивно размещён в двух герметичных оболочках при параллельном соединении размещённых в них собственноручно изготовленных автором из набора последовательно — параллельно соединённых типовых отельных 1800 Вольт для постоянного напряжения конденсаторов с тангенсом потерь не хуже 5*10 –4 , как это можно

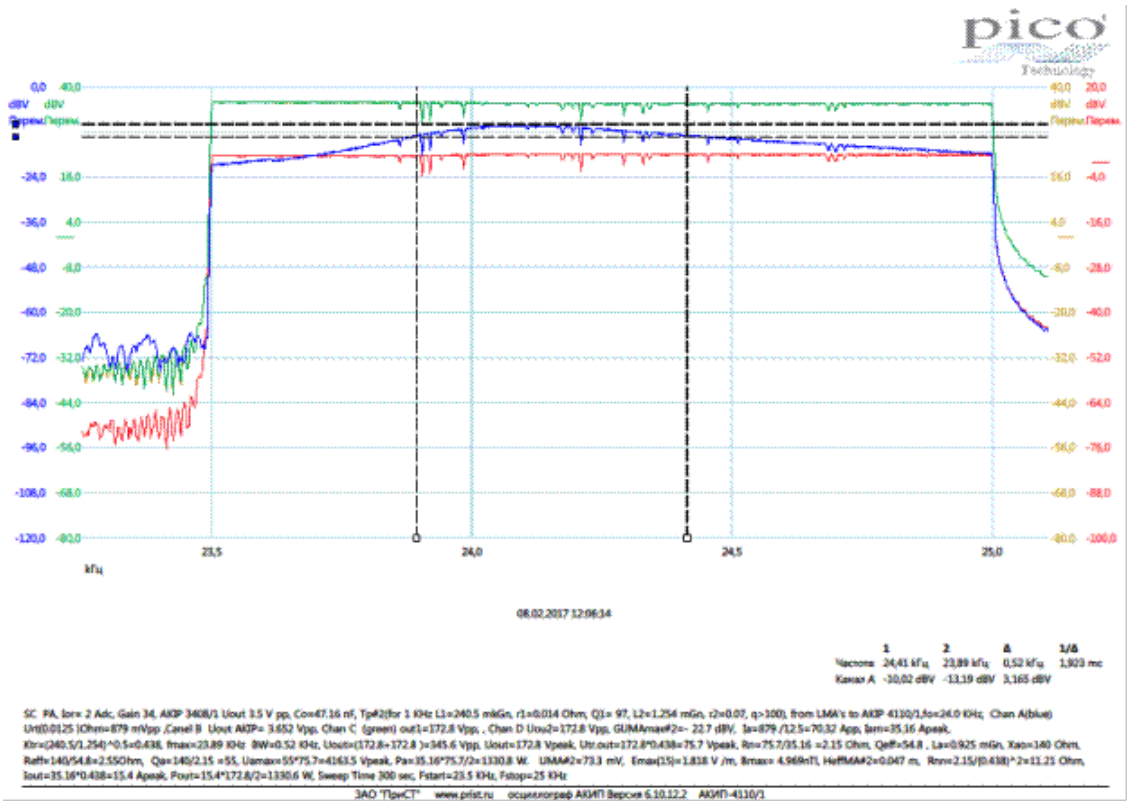


Фиг.10.

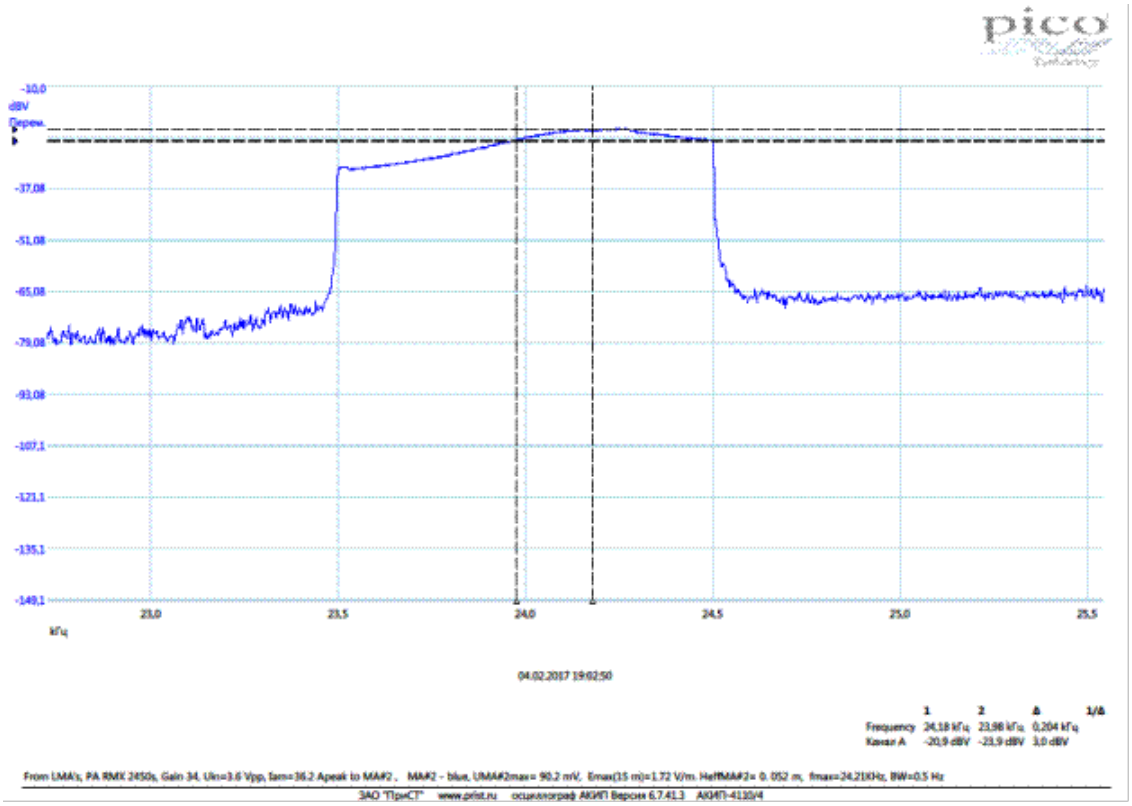


Фиг.11.

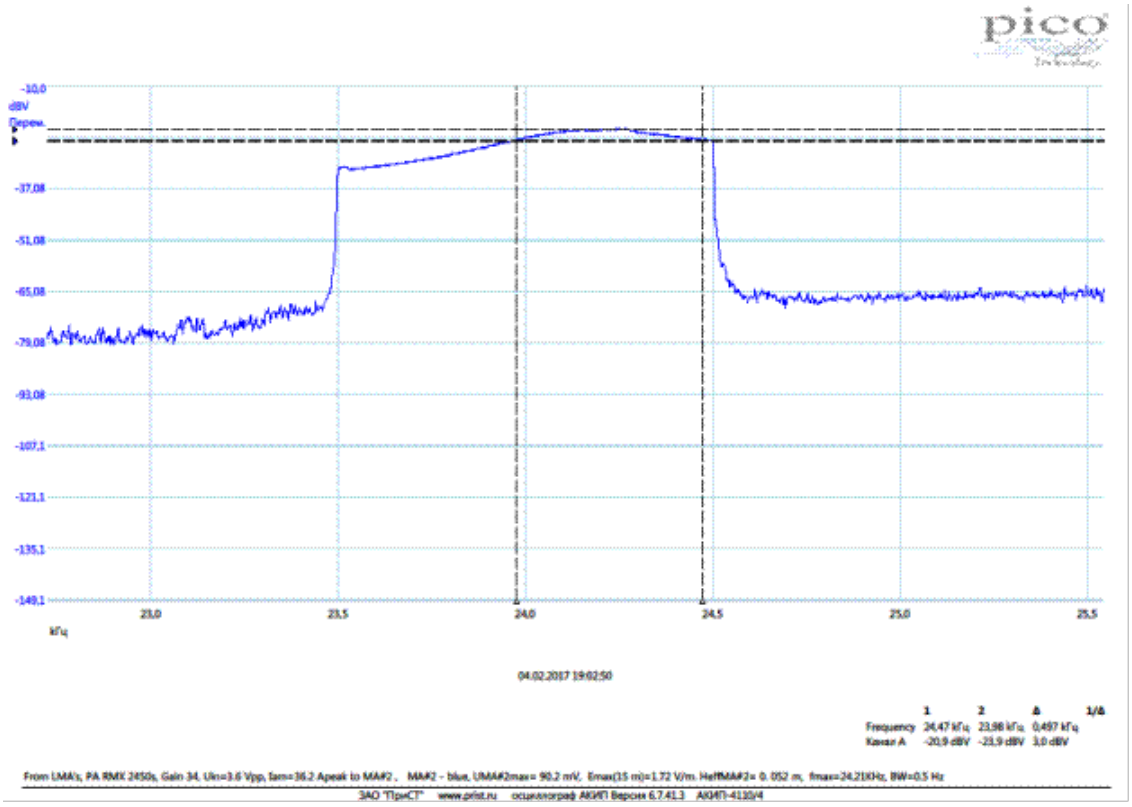
видеть на Фото.2 парами симметрично по бокам центрально расположенной модели ЛМА№ 14.



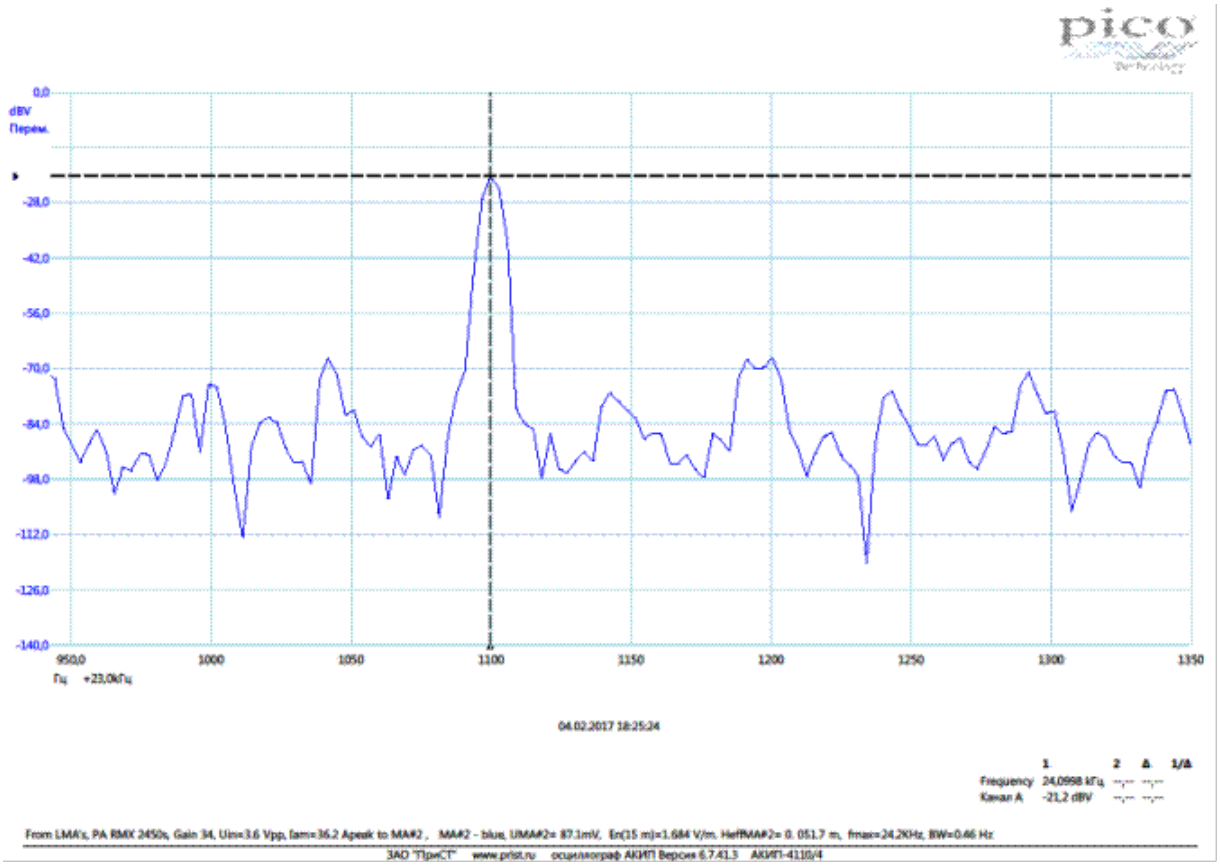
Фиг.12.


pico
-10,0
dBV
Перем.
-37,08
-51,08
-65,08
-79,08
-93,08
-107,1
-121,1
-135,1
-149,1
23,0
23,5
24,0
24,5
25,0
25,5
кГц
04.02.2017 19:02:50
1
2
Δ
1/Δ
Frequency 24,18 кГц 23,98 кГц 0,204 кГц
Канал А -20,9 dBV -23,9 dBV 3,0 dBV
From LMA's, PA RMX 2450s, Gain 34, Ukn=3.6 Vpp, Iam=36.2 Apeak to MA#2 , MA#2 - blue, UMA#2max= 90.2 mV, Emax(15 m)=1.72 V/m. HeffMA#2= 0. 052 m, fmax=24.21KHz, BW=0.5 Hz
ЗАО "ПриСТ" www.prist.ru осциллограф АКИП Версия 6.7.41.3 АКИП-4110/4

Фиг.13.


pico
-10,0
dBV
Перем.
-37,08
-51,08
-65,08
-79,08
-93,08
-107,1
-121,1
-135,1
-149,1
23,0
23,5
24,0
24,5
25,0
25,5
кГц
04.02.2017 19:02:50
1
2
Δ
1/Δ
Frequency 24,47 кГц 23,98 кГц 0,497 кГц
Канал А -20,9 dBV -23,9 dBV 3,0 dBV
From LMA's, PA RMX 2450s, Gain 34, Ukn=3.6 Vpp, Iam=36.2 Apeak to MA#2 , MA#2 - blue, UMA#2max= 90.2 mV, Emax(15 m)=1.72 V/m. HeffMA#2= 0. 052 m, fmax=24.21KHz, BW=0.5 Hz
ЗАО "ПриСТ" www.prist.ru осциллограф АКИП Версия 6.7.41.3 АКИП-4110/4

Фиг.14.



Фиг.15.

Фото.16.

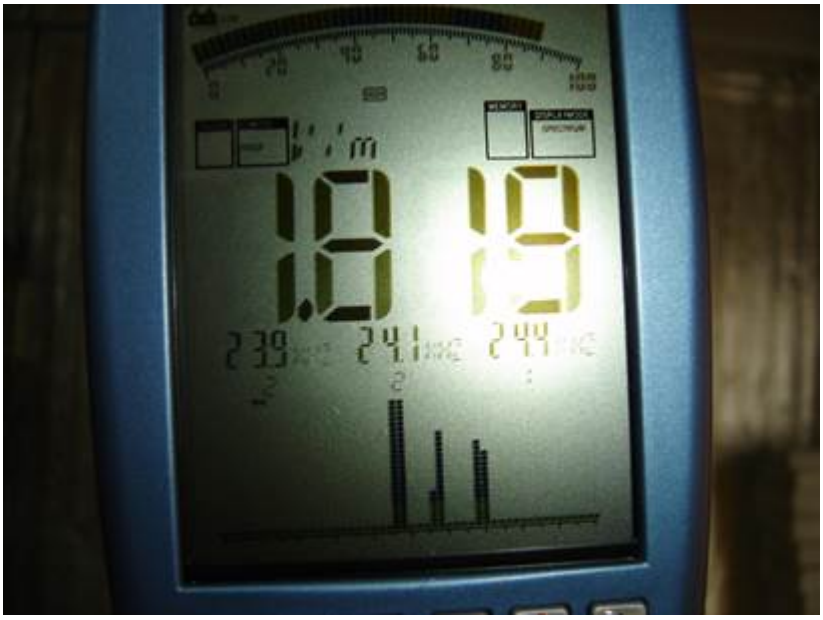


Фото.17.

Фото.18

Таблица 3.

Модель №	Lo [мкГн]	La [мГн]	N	$\mu_{эфф}$	Вид намотки
11	42.88	2.028	80	47.29	правая
12	66.7	1.277	88	19.15	левая
13	41.61	1.588	96	38.5	левая
14	48.92	1.950	96	39.86	правая
15	46.11	1.895	96	41.1	левая
16	43.15	1.780	96	38.57	правая

Следует иметь ввиду, что измеренные параметры последовательно согласованного соединённых обмоток «возбуждения этих моделей, расположенных в соответствии с гео-метрией Фиг.2, дало следующий результат:

Lasum = 6.936 мГн rssum = 0.584 Ом Qsum = 77.33

Тогда как арифметическая сумма значений третьего столбца дает величину 10.518 мГн, это следствие магнитной взаимного влияния друг на друга.

7.2. Измерения проводились автором в условиях реального расположения «ушестерённой» модели в «прицепе» (см. Фото.3) аппаратурой (см. Фото.5, 6, 7) в лабораторном помеще-нии. На основание данных Фиг.10:

а) На вход УМ№ 1 типа RMX 2450s был подан с ФГ синусоидальный сигнал с амплитуд-ным значением 1.75 В со значением несущей частоты f = 24.28 КГц, добившись её плав-ным изменением обеспечение настройки в резонанс антенной цепи тока «возбуждения» по моменту совпадения фазы напряжения Urt(Rt=0.012 Ом) = 437.4 мВ с напряжением Uout = 172.8 В на входе первичной обмотки согласующего трансформатора СТ.

б) Измеренные параметры на частоте 1 КГц первичной и вторичной обмотки СТ, выпол-ненного на ферритовом сердечнике РМ87*70 имеют значения:

L2=241.3 мкГн, rs2 = 0.0 14 Ом, Q = 97, L1=1.254 мГн, rs = 0.07 Ом, Q > 100 (7.2 — 1)

Таким образом СТ является понижающим трансформатором с коэффициентом

Ктр = $\sqrt{\frac{L2}{L1}} =$ 0.44 (7.2 — 2).

в) амплитудное значение тока «возбуждения» Iam = 35 А. Величина активного сопротив-ления потерь резонансной цепи тока «возбуждения «ушестерённой» модели ЛМА

rn = 2.16 Ом, а мощность подводимая к ней Ра = 1325 Ватт.

г) Так как резонансное значение конденсатора в цепи тока «возбуждения» Со = 47.16 нФ, то эквивалентное значение индуктивности цепи тока «возбуждения» La =0.911 мГн доб-ротность её Qa = 64.4. С учётом, что амплитудное значение напряжения на выходе вто-ричной обмотки равно Utr.out = 75.7 В, поэтому на соленоиде обмотки возбуждения ам-плитудное значение напряжения составит величину Uam=4878 В.

д) исходя из данных АЧХ, представленной на Фиг.11 и 12, полоса пропускания антен-ного контура тока BW= 0.52 КГц, эффективное значение добротности Qэфф=54.8, а эф-фективное сопротивление потерь антенного контура питания

rэфф = 2.55 Ом > rn = 2.16 Ом (7.2 — 3)

е) Измеренное АКИП-4210/3 эффективное значение горизонтальной составляющей ин-дукции магнитного поля

Вг.тест(15 м)= 4.96 нТл см. Фото. 16) (7.2 — 4)

Интересно отметить, так как горизонтальная составляющая напряжённости магнитного поля Нг.тест (15 м) = 4.96 / 400 π =0.004 А/ м (7.2 –5), и, если умножить эту величину на Волновое сопротивление вакуума Wo =120 π Ом (7.2 — 6),

то должны были бы получить эффективное значение горизонтальной составляющеё напряжённости электрического поля Ег (15) = 1.51 В (7.2 — 7)

ж) Измеренное АКИП-4210/3 эффективное значение горизонтальна составляющая напря-женности электрического поля Ег.тест(15 м) = 1.551 В / м (см. Фото. 18) (7.2 — 8)

(Просто удивительно, что получен результат практически совпал со значением, вычис-ленным с помощью формулы (7.2 — 9) !!!) а эффективное значение вертикальной состав-ляющая напряженности электрического поля

Евтест(15 м) = 1.819 В / м (см. Фото. 17) (7.2 — 10), поэтому эффективное абсолют-ное значение вектора Е (15 м) напряжённости электрического поля

Е (15 м) = 2.3 В / м. (7.2 — 11).

з) Измеренный уровень сигнала в соответствии с данными спектральной плотности напряжения на выходе пассивной антенны МА№ 2, представленной на Фиг.15 равен — 23.2 дБВ, поэтому амплитудное значение выходного сигнала

UoutMA#2(15 м) = 0.07 В (2.7 — 12)

и) Поскольку Ег.тест(15 м) = 1.551 В / м , то можно вычислить «действующую высоту» НМА№ 2 приёмной пассивной антенны для данной частоты:

НМА№ 2 = 0.07/(1.41*1.551)=0.032 м. (7.2 — 13).

8. Можно произвести теоретическую оценку значения напряжённости электрического поля на расстоянии 1000 м, зная её величину на расстоянии 15 м (см. 7.2 — 11) принимая во внимание результаты экспериментального теста модели ЛМА№ 20м1 на пересечённой местности [7, п.23]:

Е (1000 м) = 2.3 *(15 / 1000)1.2= 14.9 мВ / м (8 — 1).

Поэтому можно предположить, что

UoutMA#2(1000 м) = 14.9 мВ/м* 0.032 м = 0.48 мВ (8 — 2).

Поэтому можно считать, что мощность радиации ЭМВ «ушестерённой» модели ЛМА мо-жет соответствовать величине порядка:

Ррад = $4\pi E^2(1000)10^6 / Wo$ = 7.4 Ватт (8 — 3)

Таким образом можно считать, что эффективность радиации ЭМВ «ушестерённой модели ЛМА на частоте порядка 24.5 КГц порядка:

ζ рад = Ррад / Р а = 7.4 / 1325 =5.6* 10 –3 = 0.56% (8 — 4)

Литература:

1. А.Б. Ляско, Патент РФ № 2428774 на изобретение «Передающие Линейные Маг-нитные Антенны (ЛМА)», 10 Сентября 2010 г., ФИПС, Москва.
2. А.Б. Ляско, "Сферические волны передающей линейной магнитной антенны (Часть 1),"Евразийский научный журнал" № 6, Июнь 2016 г.
3. А.Б. Ляско, «Сферические волны передающей магнитной антенны (Часть 2), «Евразийский научный журнал» № 7, Июль 2016 г.
4. А.Б. Ляско, «О реальной возможности использования линейных магнитных антенн (ЛМА) для электромагнитной двусторонней трансляции дискретной инфор-мации в морской среде между мобильными объектами в диапазоне КНЧ», «Евразийский научный журнал» № 8, Август 2016 г.
5. А.Б. Ляско, «Об испытании модели линейной магнитной антенны ЛМА№ 20м1 (Часть 1)», «Евразийский научный журнал» № 11, Ноябрь 2016 г.
6. А.Б. Ляско, «Об испытании модели линейной магнитной антенны ЛМА№ 20м1 (Часть 2)», «Евразийский научный журнал» № 12, Декабрь 2016 г.
7. А.Б. Ляско, «Об испытании модели линейной магнитной антенны ЛМА№ 20м1 (Часть 3)», «Евразийский научный журнал» № 1, Январь 2017 г.
8. А.Б. Ляско, «Испытание излучения мобильной ушестерённой модели линейной маг-нитной антенны на пересечённой местности в СВД диапазоне» , «Евразий-ский научный журнал» № 1, Январь 2017 г.