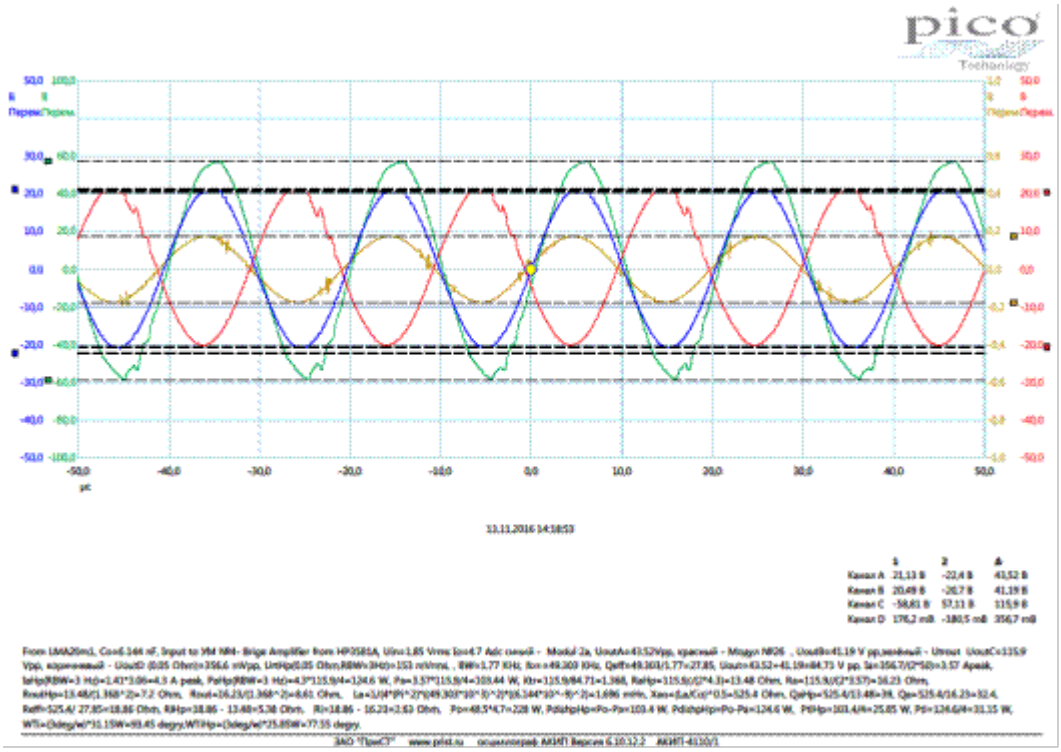
Об испытании модели линейной магнитной антенны ЛМАN°20М1 (часть 2)

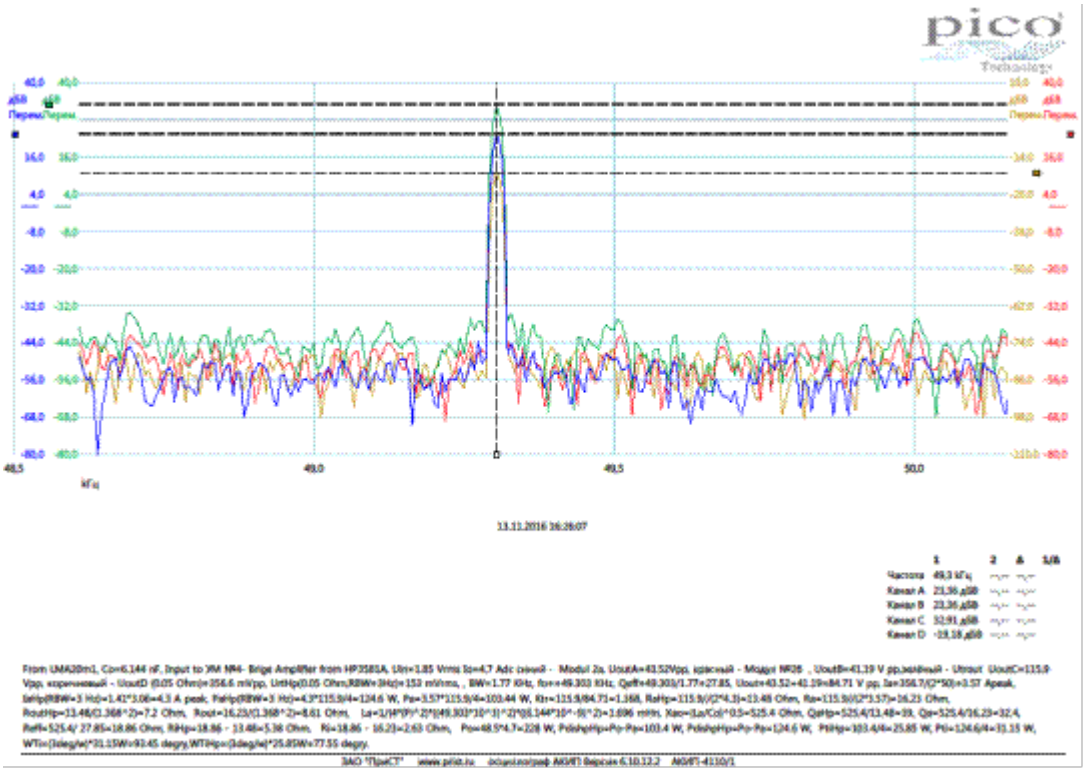
Арий Борисович Ляско
Радиоинженер,канд. физ. - мат. наук, Ph.D.
E-mail: lyasko.ariy@mail.ru

(Продолжение п.7 предыдущей моей статьи [5]).

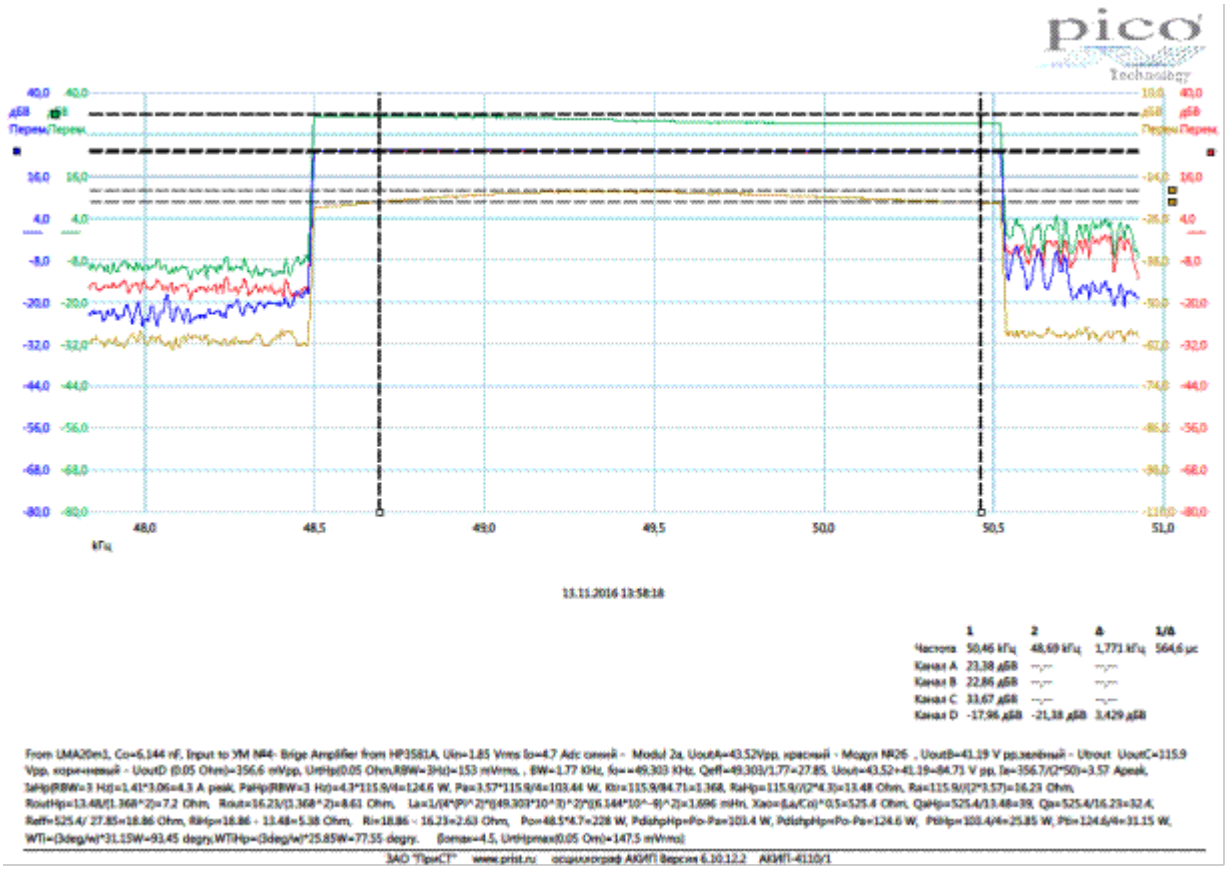
7. Результат исследования работы УМ№ 4 при «балансном» его выходе на нагрузку антенного контура тока «возбуждения» модели ЛМА№ 20м1 в реальных условиях при Uin = **1.85 Vrms** представлен на Изо. 11, 12, 13 и 14.



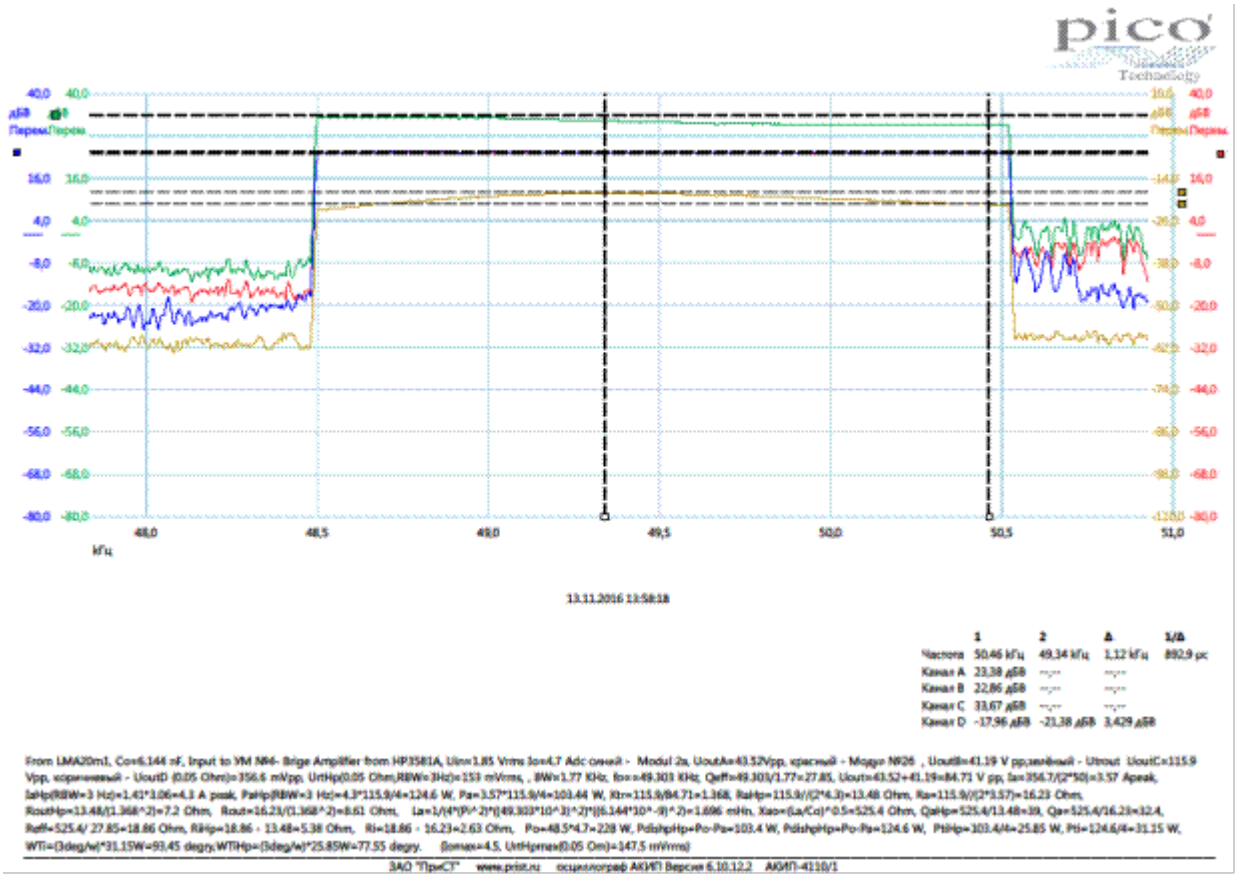
Изо. 11.


pico
Technology
кГц
13.11.2016 16:26:07
From LMA20m1, Co=6.144 nF, Input to ИМ NN4- Brige Amplifier from HP3581A, Uin=1.85 Vrms Io=4.7 Adc синий - Modul 2a, UoutA=43.52Vpp, красный - Модул NR26 , UoutB=41.19 V pp,зелёный - Utrout UoutC=115.9 Vpp, коричневый - UoutD (0.05 Ohm)=356.6 mVpp, UnHp(0.05 Ohm,RBW=3Hz)=153 mVrms, , BW=1.77 KHz, fo=+49.303 KHz, Qeff=49.303/1.77=27.85, Uout=43.52+41.19=84.71 V pp, Ia=356.7/(2*50)=3.57 Apeak, IaHp(RBW=3 Hz)=1.41*3.06=4.3 A peak, PaHp(RBW=3 Hz)=4.3*115.9/4=124.6 W, Pa=3.57*115.9/4=103.44 W, Ro=115.9/84.71=1.368, RaHp=115.9/(√2*4.3)=13.48 Ohm, Ra=115.9/(2*3.57)=16.23 Ohm, RoutHp=13.48/(1.368^2)=7.2 Ohm, Rout=16.23/(1.368^2)=8.61 Ohm, La=1/(4*(Pi^2)*((49.303*10^3)^2)*((6.144*10^-9)^2)=1.696 mHn, Xao=(La/Co)^0.5=525.4 Ohm, QaHp=525.4/13.48=39, Qa=525.4/16.23=32.4, Reff=525.4/ 27.85=18.86 Ohm, RHp=18.86 - 13.48=5.38 Ohm, Ri=18.86 - 16.23=2.63 Ohm, Po=48.5*4.7=228 W, PdishpHp=Po-Pa=103.4 W, PdishpHp=Po-Pa=124.6 W, PtiHp=103.4/4=25.85 W, Pti=124.6/4=31.15 W, WTi=(3deg/w)*31.15W=93.45 degry,WTiHp=(3deg/w)*25.85W=77.55 degry.
ЗАО "ПриСТ" www.prist.ru осциллограф АКИП Версия 6.10.12.2 АКИП1-4110/1

Изо. 12.


pico
Technology
кГц
13.11.2016 13:58:18
From LMA20m1, Co=6.144 nF, Input to ИМ NN4- Brige Amplifier from HP3581A, Uin=1.85 Vrms Io=4.7 Adc синий - Modul 2a, UoutA=43.52Vpp, красный - Модул NR26 , UoutB=41.19 V pp,зелёный - Utrout UoutC=115.9 Vpp, коричневый - UoutD (0.05 Ohm)=356.6 mVpp, UnHp(0.05 Ohm,RBW=3Hz)=153 mVrms, , BW=1.77 KHz, fo=+49.303 KHz, Qeff=49.303/1.77=27.85, Uout=43.52+41.19=84.71 V pp, Ia=356.7/(2*50)=3.57 Apeak, IaHp(RBW=3 Hz)=1.41*3.06=4.3 A peak, PaHp(RBW=3 Hz)=4.3*115.9/4=124.6 W, Pa=3.57*115.9/4=103.44 W, Ro=115.9/84.71=1.368, RaHp=115.9/(√2*4.3)=13.48 Ohm, Ra=115.9/(2*3.57)=16.23 Ohm, RoutHp=13.48/(1.368^2)=7.2 Ohm, Rout=16.23/(1.368^2)=8.61 Ohm, La=1/(4*(Pi^2)*((49.303*10^3)^2)*((6.144*10^-9)^2)=1.696 mHn, Xao=(La/Co)^0.5=525.4 Ohm, QaHp=525.4/13.48=39, Qa=525.4/16.23=32.4, Reff=525.4/ 27.85=18.86 Ohm, RHp=18.86 - 13.48=5.38 Ohm, Ri=18.86 - 16.23=2.63 Ohm, Po=48.5*4.7=228 W, PdishpHp=Po-Pa=103.4 W, PdishpHp=Po-Pa=124.6 W, PtiHp=103.4/4=25.85 W, Pti=124.6/4=31.15 W, WTi=(3deg/w)*31.15W=93.45 degry,WTiHp=(3deg/w)*25.85W=77.55 degry. (Iomax=4.5, UnHpmax(0.05 Om)=147.5 mVrms)
ЗАО "ПриСТ" www.prist.ru осциллограф АКИП Версия 6.10.12.2 АКИП1-4110/1

Изо.13.



Изо.14.

В примечании каждого из приведенных характеристик Изо. 11, 12, 13 и 14 приведены расчёты основных параметров для данного УМ№ 4 при нагрузке на резонансный контур передающей антенны Модели ЛМА№ 20м1 при мостовой схеме подключения выходов его двух каналов: Модуля № 2а и Модуля № 2б (см. Фото. 3 в [5]).

А именно, при значении резонансного конденсатора **Со= 6.144 нФ** и значении резонансной частоты **fo = 49.3 КГц** и входном напряжении на **УМ№ 4** от свип — генератора **Нр3581А** равном эффективному значению **1.85 В**. Следуя данным **Изо. 11**:

а) Амплитудное значение напряжения на выходе УМ№ 4 равно **42.35 В**.

б) с помощью электродинамического прибора Нр3581А (см. Фото.1.) производилось измерение эффективного значения напряжения на калиброванном сопротивлении **0.05 Ом,**

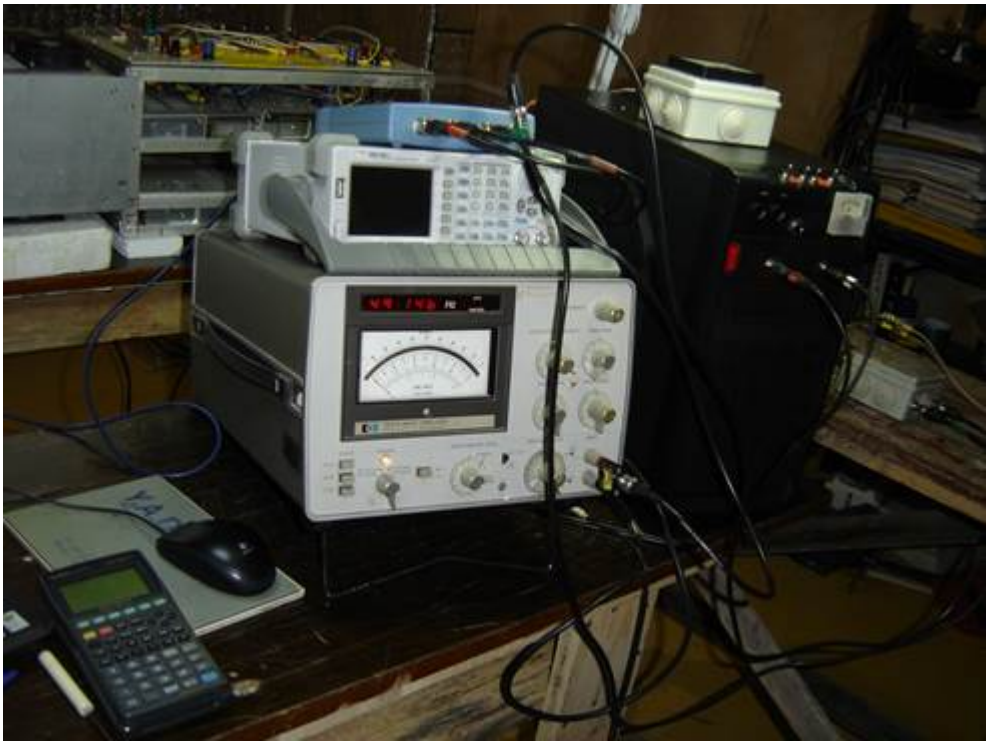


Фото.1.

находящегося в Измерительной коробке, протекаемого тока в антенном резонансном

Фото.2.

контуре ЛМА№ 20м1(внешний вид которой показан справа на Фото.2) для частоты несущей, совпадающей с резонансной частотой её контура тока «возбуждения» при фильтре RBW= 3 Гц, эффективного значения которого равно 153 мВ. Это означает, что эффективное значение протекаемого тока по фидеру питания антенного контура последовательного резонанса равно **3.06 А**, а его амплитудное значение равно **4.3 А.**

в) Зная двойное амплитудное значение напряжения на выходе СТ УМ№ 4, равное **115.9 В**, можно определить значение эквивалентного активного сопротивления потерь собственно контура

тока «возбуждения» [**1, 2, 3, 4, 5**], которое равно **13.48 Ом для** модели ЛМА№ 20м1. **г)** Использование ***четырёхканального цифрового с 12 бит АКП виртуального «Осциллоскоп — Анализатора» частотного спектра электрических сигналов типа АКИП 4110/1 (***внешний вид которого представлен на Фото.1 в пластиковом корпусе синего цвета в центральной его части) для получения кривых Изо. 11, 12, 13 и 14 позволяет так же определить (хотя не известно значение его **RBW**) эффективного значения активного сопротивления потерь и амплитудное значение тока «возбуждения» в резонансной цепи антенны ЛМА№ 20м1 по величине измеренного значения напряжению на этом же калиброванном сопротивлении **0.05 Ом**. Амплитудно значение тока **3.57 А** в антенном контуре равно отношению (см. Изо.11) двойного амплитудного значения напряжения на калиброванном сопротивлении, равного **356.7 мВ** и увеличенного в два раза значения этого калиброванного сопротивления. А значение активного сопротивления потерь УМ№ 4 равно отношению двойного амплитудного значения напряжения на выходе СТ, равного **115.9 В** и увеличенного в два раза значения тока «возбуждения», равного **3.57 А**. Таким образом, в момент резонанса сопротивление активных потерь собственно антенного контура равно **16.56** Ом.

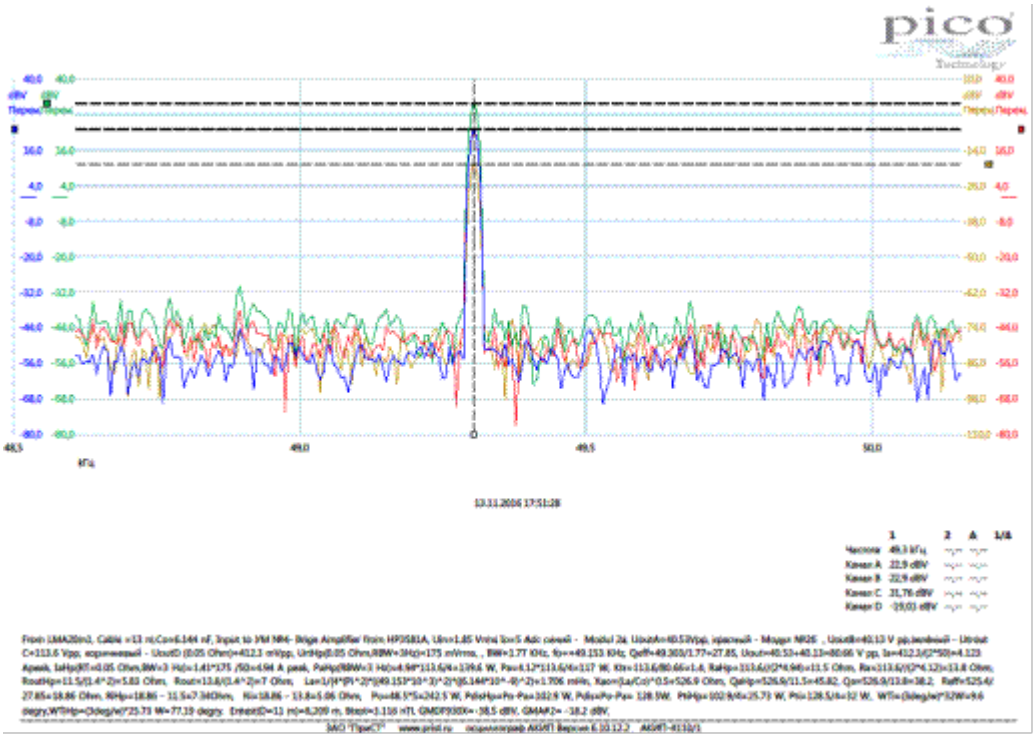
д) Как следует из отсчёта показаний двойного амплитудного значения напряжения на выходе Согласующего трансформатора СТ, равного **115.9 В,** подводимая мощность к антенне ЛМА№ 20м1 составляет, соответственно, величину **124.6 В**атт или **103.4 Ватт.**

е) Постоянное напряжение питания **Ео** УМ№ 4 равно **48.5 В**, а потребляемый им ток в момент резонанса антенной цепи составил величину, равную **4.7 А.** Поэтому в данном случае **УМ№ 4** потребляет от источника постоянного напряжения питания мощность, равную **228 Ватт. ж)** Мощность теплового рассеяния четырьмя ИОУМ в УМ№ 4 составляет, соответственно, **103.4 Ватт**, или **124.6 Ватт.** Способность рассеивания тепла используемыми в УМ№ 4 радиаторами воздушного охлаждения ИОУМ без принудительной вентиляции оценивается как **3 гр./Ватт**. Поэтому каждый ИОУМ может нагреться, соответственно, на **77.6** градуса, или на **93.5** градуса. Поэтому применяются для принудительного отвода тепла от корпуса каждого ИОУМ два микро вентилятора в данном УМ№ 4. Автор полагает, что будет иметь место коэффициент «способности рассеивания тепла» порядка **1 гр./Ватт**. **з)** Данные, полученные с помощью Изо.11, позволяют оценить коэффициент трансформации Ктр (для данного значения частоты и протекаемого тока) согласующего трансформатора СТ по отношению величины двойного амплитудного значения напряжение на его выходе, равного **115.9 В** и напряжения на его входе, — равного **84.71 В .** Таким образом, СТ — является повышающим трансформатором и Ктр = **1.36**. **и)** Активное сопротивление нагрузки балансного выхода УМ№ 4 в момент резонанса , равное **7.3 Ом**, или **9 Ом** может быть определено из Изо.11 как отношение активного сопротивления потерь антенной резонансной цепи, соответственно, равного **13.48 Ом, или 16.56** Ома и квадрата коэффициента трансформации СТ Ктр. **к)** В силу нелинейности характеристик магнитопровода антенны ЛМА№ 20м1 от протекаемого по его обмотке тока «возбуждения» и зависимости его свойств от частоты имеется возможность при помощи кривых Изо.11 оценить эквивалентную величину индуктивности соленоида модели ЛМА№ 20м1 с учётом знания величины емкости резонансных конденсаторов, равной **6.144 нФ**. Для частоты **fo = 49.3 КГц** эквивалентное значение индуктивности антенны ЛМА№ 0м1 равно **1.692 мГн**.

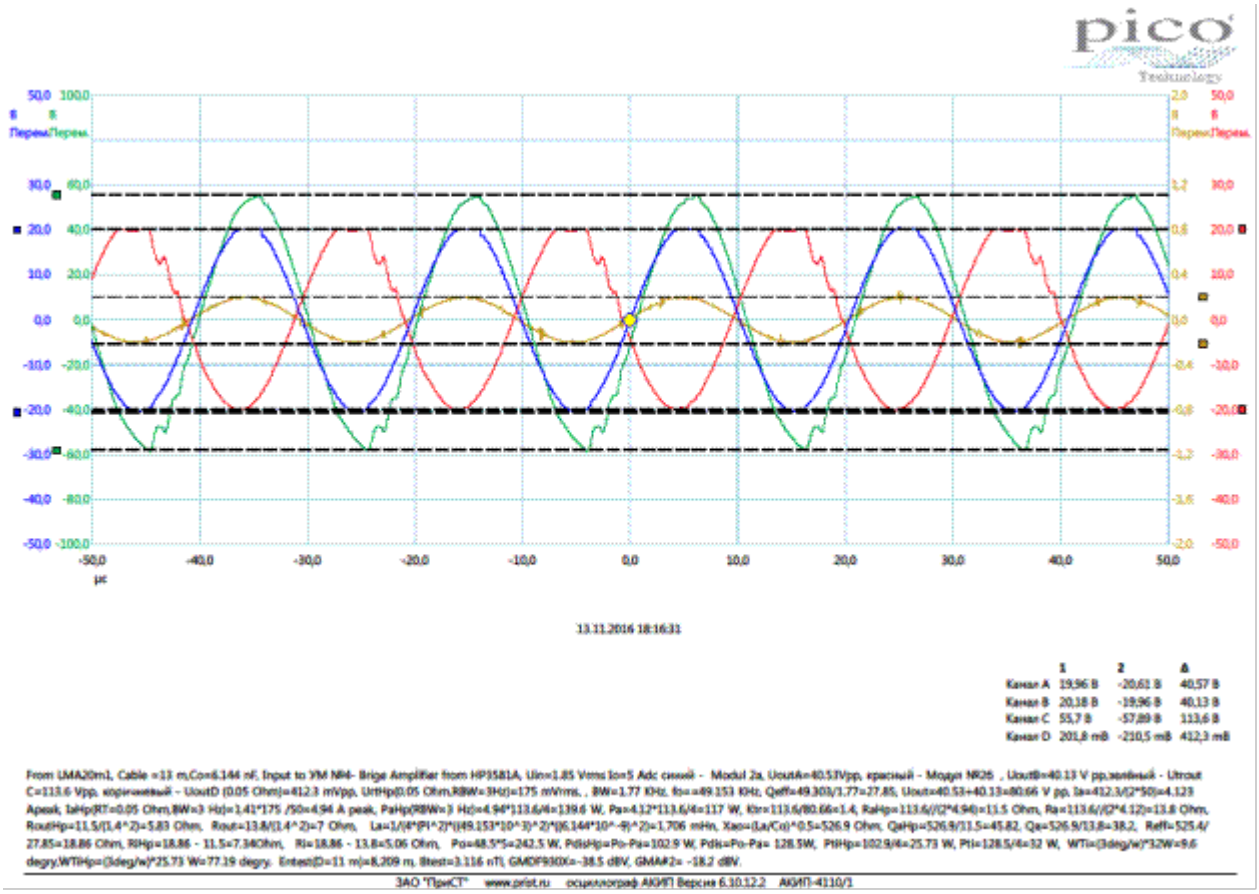
л) на основе АЧХ Изо.13 и Изо. 14 следует, что ЛМА№ 20м1 обладает полосой пропускания RB частоты, равной **1.771 КГц** на уровне — 3 dB. Корень квадратный отношения эквивалентного значения индуктивности **1.692 мГн** и резонансной емкости **6.144 нФ** антенного контура определяет величину Волнового сопротивления цепи последовательного резонанса антенного контура тока «возбуждения», равную **524.8 Ом.** Добротность собственно антенного контура тока «возбуждения», равная отношению «Волнового сопротивления» и, соответственно, сопротивления потерь в нём **(13.48 Ом,** или **16.56 Ом)**, поэтому равна, соответственно, **39**, или **32. м**) По отношению величины

резонансной частоты **fo = 49.3 КГц** и полосы пропускания RB = **1.771 КГц,** определяется эффективное значение добротности всего контура тока «возбуждения» продольного магнитного потока, создаваемого в в теле ЛМА№ 20м1, равное **27.8.** Может быть произведена оценка эффективного значения сопротивления потерь в данном контуре, равной **18.9 Ом** по отношению величины «Волнового сопротивления», равного **524.8 Ом** и эффективного значение добротности, равной 27.8. Данное эффективное сопротивление потерь характеризует потери, ни только в самой антенне, но и, например: в СТ, внутри и в выходной цепи ИОУМ , так же как потери в 13-и метровом фидере питания антенны ЛМА№ 20м1. Величина этих дополнительных внутренних потерь оценивается значением, соответственно, **5.42 Ом**, или **2.34 Ом**. **п**) По уменьшенной в два раза величине произведения добротности собственно антенного контура, равной, соответственно, **39**, или **32,** и двойного амплитудного значения напряжения на выходе СТ, равного **115.9 В ,** производим оценку амплитудного значения возникающего напряжения на конденсаторах и напряжения на обмотке соленоида тока «возбуждения» ЛМА№ 20м1, равного **2564.3 В**. Изо. 12 иллюстрирует спектральную плотность в контролируемых точках УМ№ 4 в момент резонанса.

8. Исследования показали [2, 3, 4, 5], что с изменением внешней температуры среды расположения ЛМА и, в частности, модели ЛМА№ 20м1, меняются внутренние её характеристики, обуславливающие и собственную резонансную частоту, и добротность. и полосу пропускания её антенного контура тока «возбуждения», так же как изменяются её характеристики при изменении амплитудного значения питаемого её тока. С течением времени функционирования трансляции антенной ЛМА№ 20м1 внутренние параметры УМ№ 4 так же подвержены изменению, что вызывает изменение внутреннего его сопротивления, приводящее к увеличению тока, протекаемого в резонансной цепи тока антенны. Кривые Изо.15 и Изо. 16 тому доказательство этого процесса.



Изо. 15.



Изо.16.

9. Как отмечено в нижней части текста Изо. 15. и Изо. 16, в лаборатории на расстоянии **10 м** от места расположения передающей модели ЛМАМ№ 20м1 (см. Фото№ 1 в [5]) производилось измерение значения напряжённости поля с помощью ***портативного цифрового спектра анализатора типа АКИП –4210/3*** и одновременно измерение уровня сигнала, принятого антенной **MAN№ 2** , как это можно видеть на **Фото. 3, 4** и **5 .** Эффективное значение электрической составляющей электромагнитного поля, равное **E=8.209 В/м,** а значение уровня зарегистрированного ферритовой приёмной антенной MAN№ 2 сигнала, равного **— 18.2 dBV,** с помощью ***двухканального цифрового с 16 бит АКП виртуального***

Фото.3.

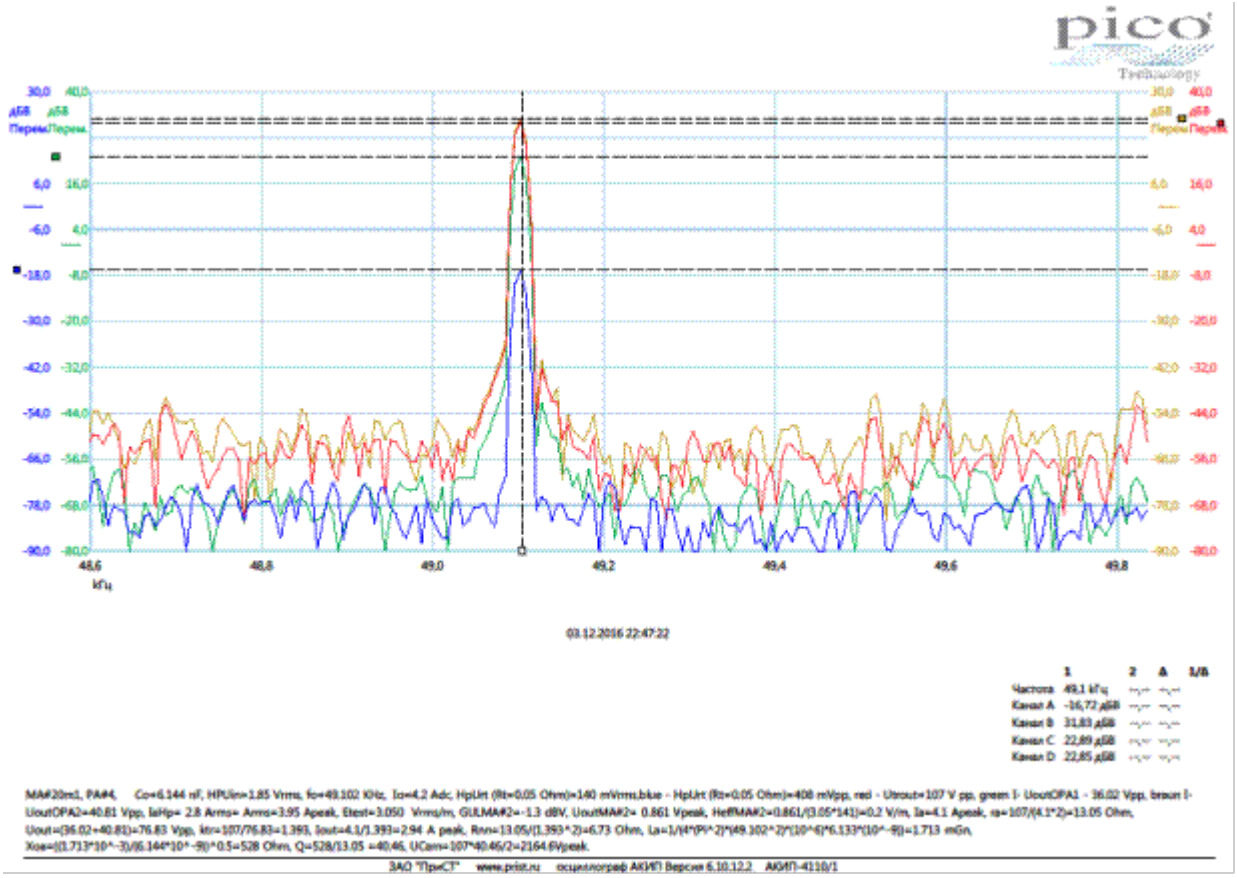
Фото. 4.

«Осциллоскопа — Анализатора» частотного спектра электрических сигналов типа Pico ADC — 216.Собственно **МАN№ 2** является **широкополосной приёмной антенной**, предназначенной для приёма электромагнитного сигналов в частотном диапазоне от **20 КГц** до частоты не менее **80 КГц.** При этом была разработана её конструкция с используемым для её подключения кабелем заданного типа и длины, чтобы её собственная резонансная частота не была ниже **90 КГц**. При измерении характеристик Модели ЛМАN№ 20м1, приведённых на **Изо. 15 и 16,** был зарегистрирован сигнал с амплитудным значением напряжения, равным **0.123 В.** Знание эффективного значения величины электрической составляющей электромагнитного поля, равного **E=8.209 В/м,** в месте расположении антенны МАN№ 2 позволило определить для частоты резонанса **fo = 49.3 КГц** значение её **«Действующей Высоты»,** равное **0.015 м.**

С целью возможности производства измерения электромагнитного поля вне лабораторного помещения на дистанциях «Ближней и дальней» зоны излучения моделью ЛМАN№ 20м1 на частоте несущей порядка 49 КГц — 52 КГц с использованием УМN№ 4, мощность которого порядка 200 Ватт, стало целесообразным применение МАN№ 2 с добавкой внешнего конденсатора с регулируемой емкостью в конце её кабеля, позволяющего искусственно переместить собственная её резонансную частоту в заданную частотную область.

Фото. 5.

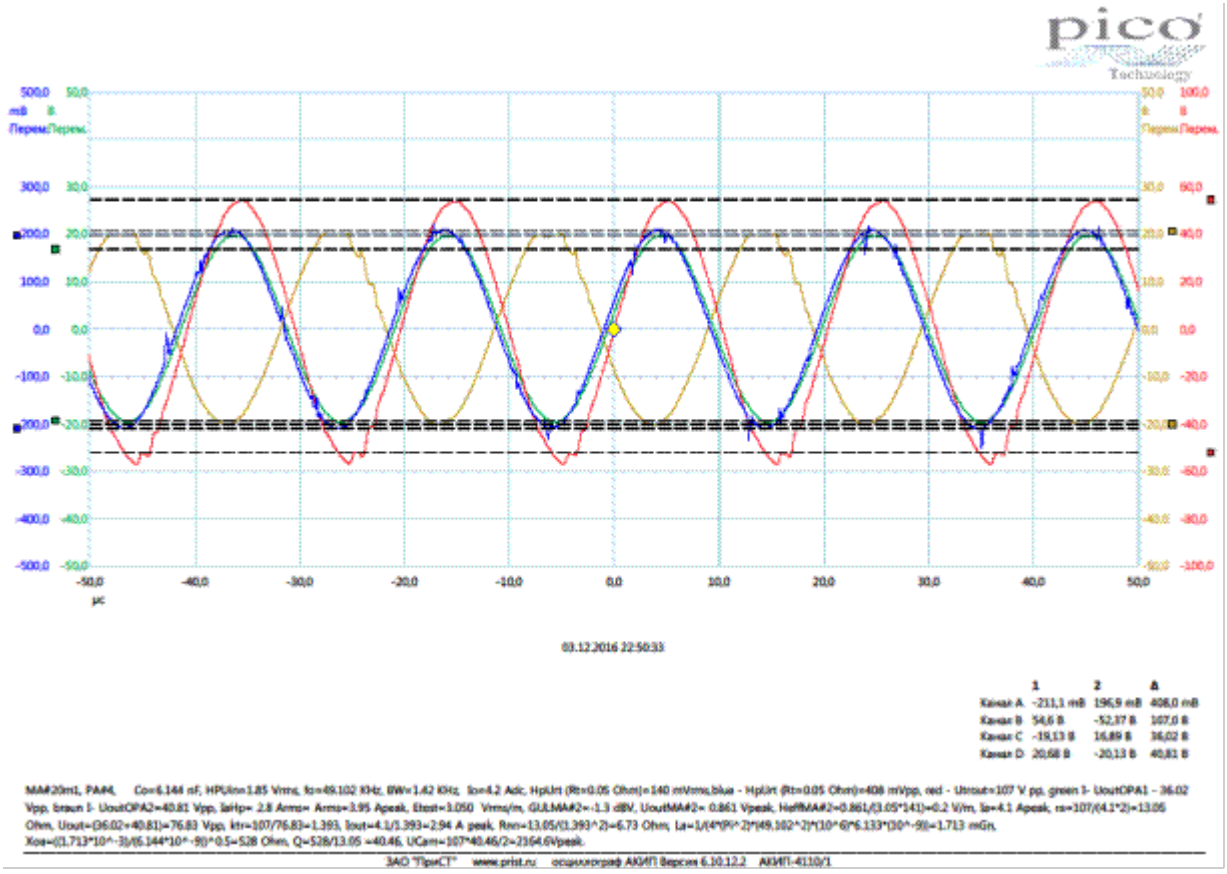
На **Фото. 5** можно видеть сверху функционального генератора изображение ***двухканального цифрового с 16 бит АКП виртуального «Осциллоскопа — Анализатора» частотного спектра электрических сигналов типа Pico ADC — 216*** и прикреплённый на один из его входов (канал А) смеситель на два его входа BNC типа . К верхнем входу этого смесителя подведён длиной в 1 м коаксиальный кабель от модели МАN№ 2, а к нижнему его входу подсоединён «кабель — аппендикс» с металлической коробочкой на его конце, в которой параллельно подсоединены дополнительный постоянный конденсатор порядка **73 пФ** и переменный роторного типа конденсатор — триммер со значением его емкости от **3 пФ** до **50 пФ**, чтобы обеспечить возможность установления её собственной резонансной частоты в пределах частот от **48 КГц до 52 КГц** в процессе предполагаемых внешних испытаний на указанных частотах при подсоединении к измерительному прибору с входным сопротивлении не менее **0.5 МОм**, например, к такому, как измеритель ***АКИП –4210/3*** (в режиме селективного микро вольтметра, обладающего чувствительностью **0.2 мкВ**)***,*** или ***Pico ADC — 216,*** или ***АКИП-4110/4***, или **Hp3581A (**при работе в режиме селективного микро вольтметра с **RBW = 3 Гц**, обладающего чувствительностью **0.1 мкВ**).



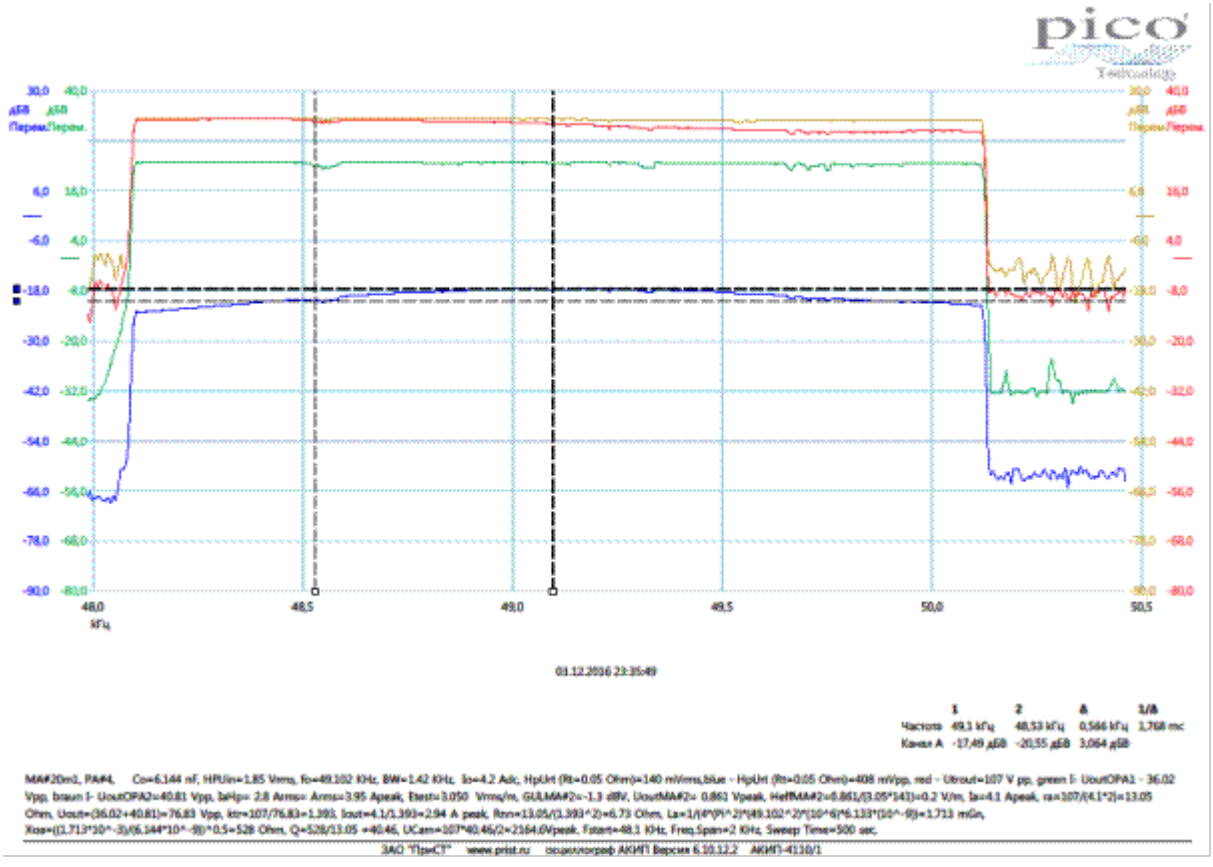
Изо. 17.

10. На Изо.19 и Изо.20 представлена АЧХ сигнала в контролируемых точках УМ№ 4 при подаче питания передающей антенне ЛМА№ 20м1 в момент ею трансляции электромагнитной энергии в окружающее пространство. На Изо.22 и Изо.23 представлена АЧХ сигнала принятого ферритовой антенны МА№ 2 в момент осуществлении сканирования частоты несущей в её цепи тока «возбуждения» антенны ЛМА№ 20м1 в момент ею трансляции электромагнитного излучения в частотном диапазоне от 48.1 КГц до 50.1 КГц. Из этих данных следует, что полоса пропускания **RB** для приёмной антенны, в силу обладания ею селективностью по частоте уже полосы пропускания **RB** контура тока «возбуждения» антенны ЛМА№ 20м1. На Изо.21 и Изо.17 представлен вид, соответственно, спектральной плотности принятого антенной МА№ 2 сигнала

и вид спектральной плотности сигналов в контрольных точках УМ№ 4, при транслируемого антенной ЛМА№ 20м1 на частоте несущей в момент резонанса в цепи тока её питания. В момент резонанса на Изо.18 представлена форма сигнала в упомянутых точках контроля УМ№ 4.

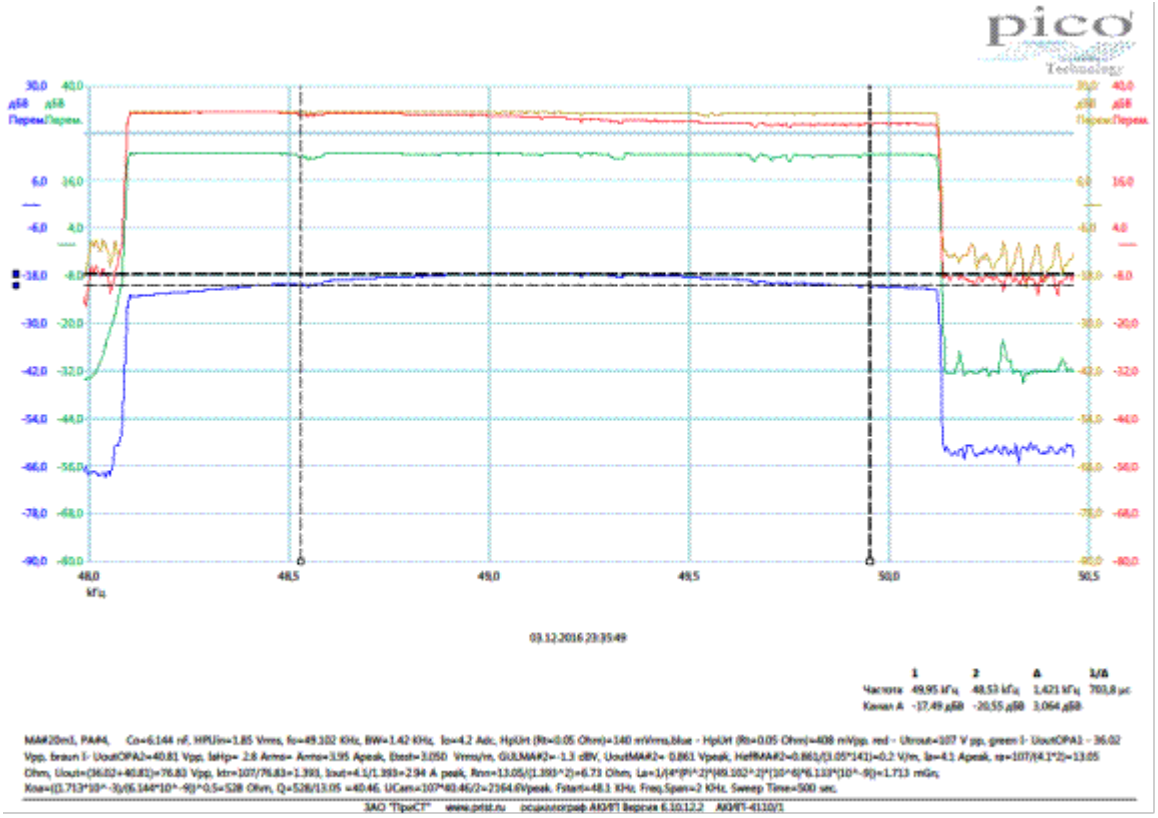


Изо. 18.

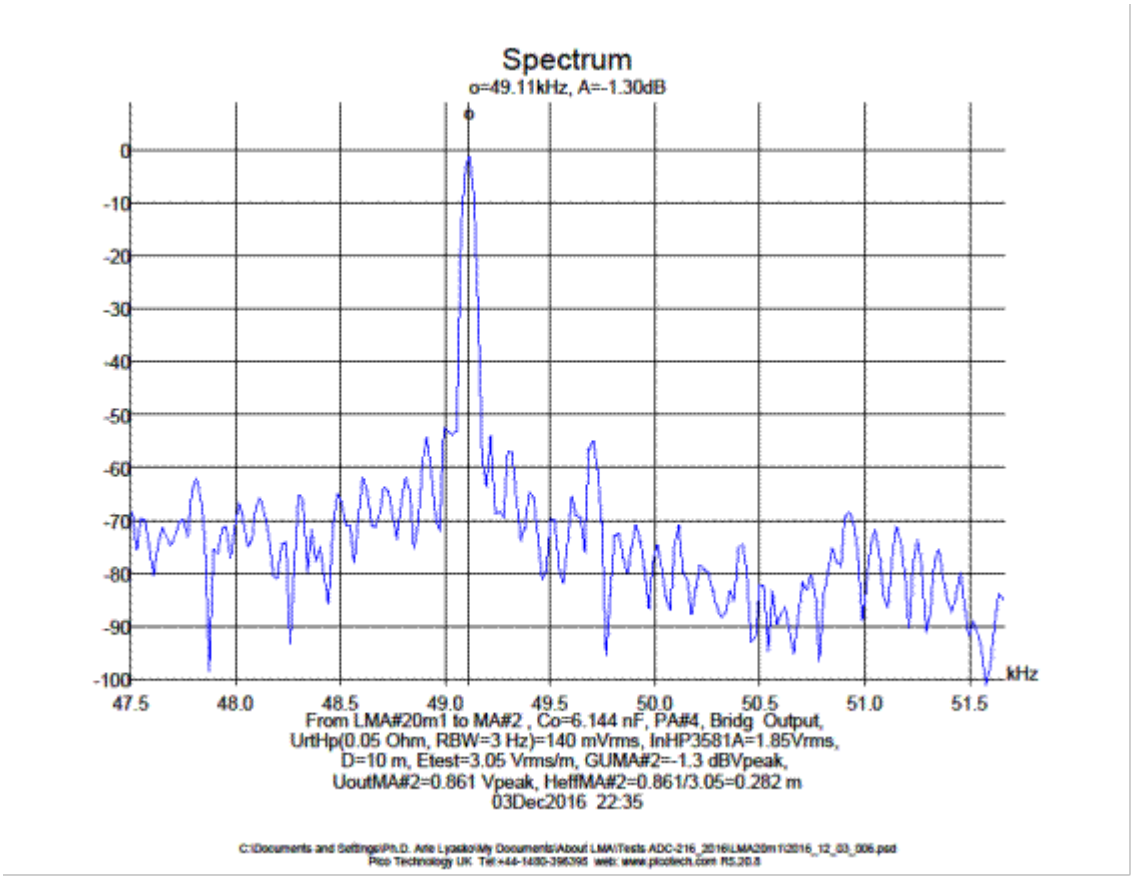


Изо.19.

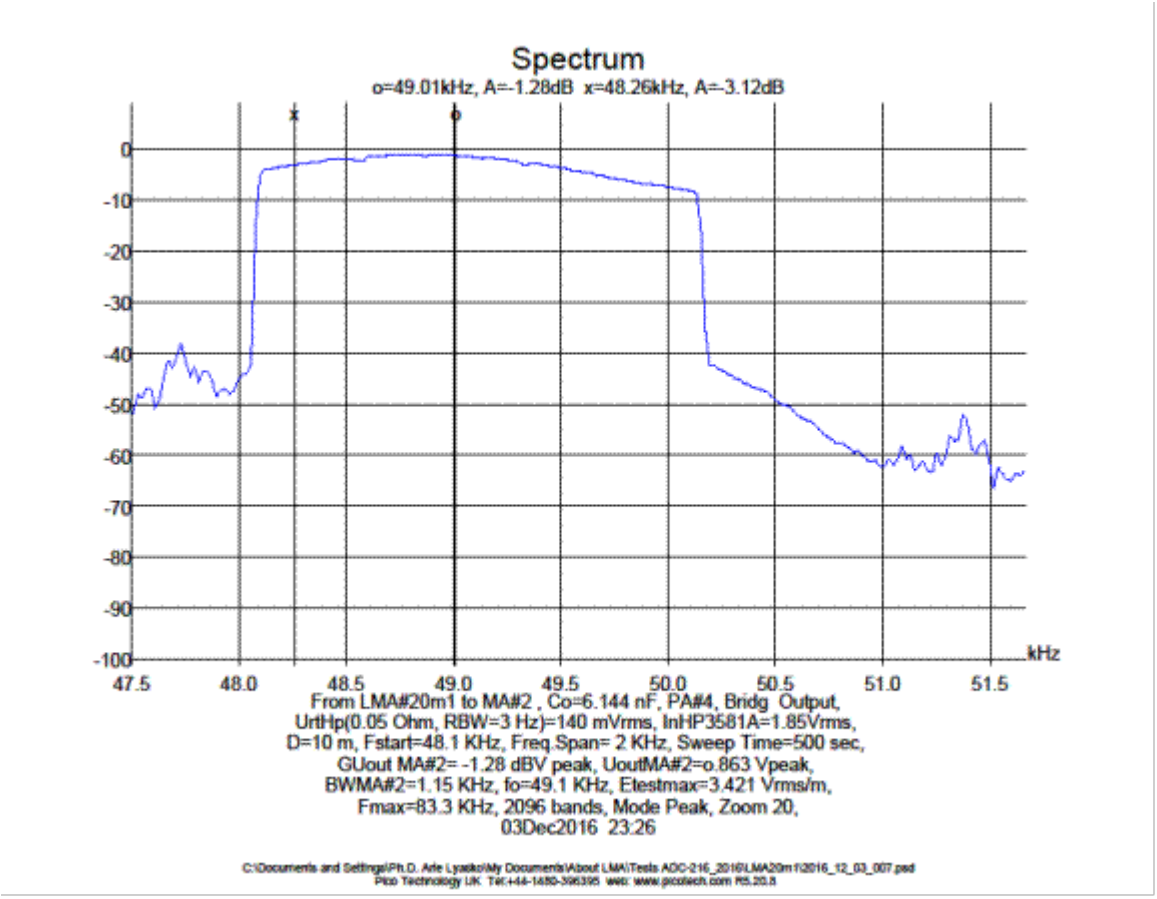
11. В нижней части текста этих Изо. во время осуществления данного теста приводятся рассчитанные данные основного режима работы УМ№ 4. Из полученных с их помощью данных в момент резонанса в антенной цепи можно прийти к заключению: **а)** амплитудное значение тока «возбуждения» продольного магнитного потока а ЛМА№ 20м1 составило величину в **4.9 А** (на основе показаний **Hp3581A,** вид которого представлен на **Фото.1** и **Фото.7**).



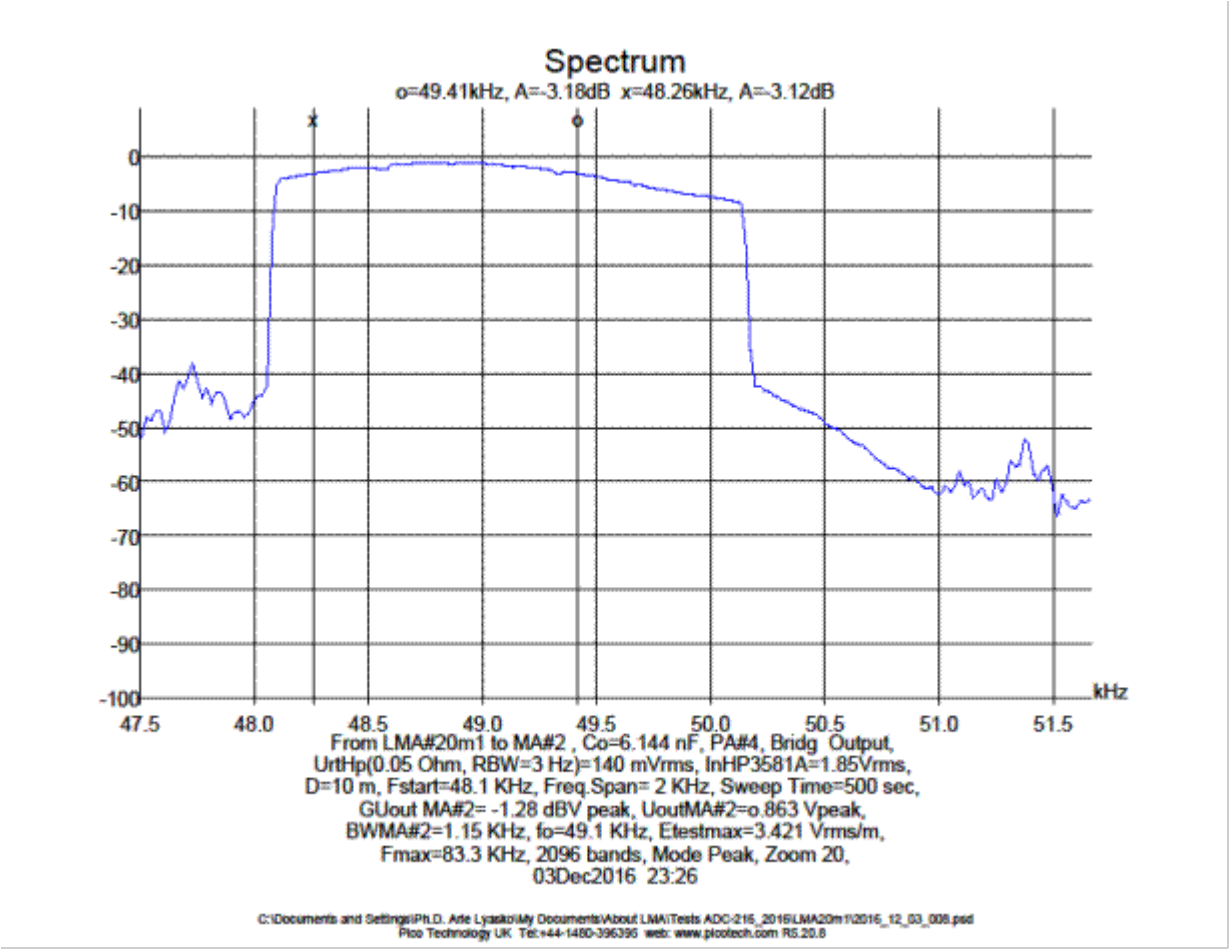
Изо. 20.



Изо. 21


Spectrum
o=49.01kHz, A=-1.28dB x=48.26kHz, A=-3.12dB
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
47.5
48.0
48.5
49.0
49.5
50.0
50.5
51.0
51.5
kHz
From LMA#20m1 to MA#2 , Co=6.144 nF, PA#4, Bridg Output,
UrtHp(0.05 Ohm, RBW=3 Hz)=140 mVrms, InHP3581A=1.85Vrms,
D=10 m, Fstart=48.1 KHz, Freq.Span= 2 KHz, Sweep Time=500 sec,
GUout MA#2= -1.28 dBV peak, UoutMA#2=o.863 Vpeak,
BWMA#2=1.15 KHz, fo=49.1 KHz, Etestmax=3.421 Vrms/m,
Fmax=83.3 KHz, 2096 bands, Mode Peak, Zoom 20,
03Dec2016 23:26
C:\Documents and Settings\Ph.D. Arle Lyasko\My Documents\About LMA\Tests AOC-216_2016\LMA20m1\2016_12_03_007.psd
Pico Technology UK Tel:+44-1480-396395 web: www.picotech.com R5.20.8

Изо. 22.


Spectrum
o=49.41kHz, A=-3.18dB x=48.26kHz, A=-3.12dB
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
47.5
48.0
48.5
49.0
49.5
50.0
50.5
51.0
51.5
kHz
From LMA#20m1 to MA#2 , Co=6.144 nF, PA#4, Bridg Output,
UrtHp(0.05 Ohm, RBW=3 Hz)=140 mVrms, InHP3581A=1.85Vrms,
D=10 m, Fstart=48.1 KHz, Freq.Span= 2 KHz, Sweep Time=500 sec,
GUout MA#2= -1.28 dBV peak, UoutMA#2=o.863 Vpeak,
BWMA#2=1.15 KHz, fo=49.1 KHz, Etestmax=3.421 Vrms/m,
Fmax=83.3 KHz, 2096 bands, Mode Peak, Zoom 20,
03Dec2016 23:26
C:\Documents and Settings\Ph.D. Arle Lyasko\My Documents\About LMA\Tests AOC-216_2016\LMA20m1\2016_12_03_008.psd
Pico Technology UK Tel:+44-1480-396395 web: www.picotech.com R5.20.8

Изо. 23.

Фото.6.

Фото.7.

б) амплитудное значение напряжения на вторичной обмотке согласующего трансформатора СТ (вид которого представлен слева на **Фото.2),** подаваемого на вход фидера питания передающей антенны ЛМА№ 20м1 длиной в **13** м, равное **56.8 В**, **в)** Потребляемая

УМ№ 4 мощность от источника постоянного напряжения составляет величину, равную **230 Ватт**, тогда как подводимая к антенне ЛМА№ 20м1 мощность составляет величину порядка **140 Ватт.**

г) коэффициент трансформации СТ равен **1.4**,

д) полоса пропускания **RB** цепи питания током передающую антенну ЛМА№ 20м1 на уровне **— 3dB** равна **1.77 КГц** при значении частоты несущей, равной **49.1 КГц.**

е) Антенной МА№ 2 на дистанции **10 м** был зарегистрирован уровень сигнала (см. **Изо. 21**), равный **— 1.3 dBV**. Это значит, что на выходе соединительного кабеля от приёмной пассивной антенны МА№ 2 был зарегистрирован сигнал с амплитудным значением, равным **0.861 В** (см. Изо.22 и Изо.23). Измерительный прибор **АКИП –4210/3** в месте установки модели МА№ 2 (см.**Фото.3**) дал показание эффективного значения электрической составляющей напряжённости электромагнитного поля, равного **3.421 В/м** (см. **Фото.6).** Отношение амплитудного значения напряжения зарегистрированного сигнала **0.861 В** и увеличенного в **1.41 раза** эффективного значения напряжённости электрического поля **3.421 В/м** даёт возможность оценить величину «Действующей Высоты» Модели приёмной Антенны **МА№ 2** с подсоединенным на выходе её кабеля дополнительной емкости в виде «кабеля — аппендикса», как это можно видеть на **Фото.5.** Итак, **«Действующая Высота» МА№ 2** в данном случае равна **0.18 м** вместо полученного ранее её значения, равного **0.015 м**(см. **п.9**)**.** Увеличение величины «Действующей высоты» **МА№ 2** облегчит проведение измерений уровня принятого сигнала с её помощью на дальних дистанциях от места расположения передающей Антенны ЛМА№ 20м1 при использовании в режиме селективного микро вольтметра прибора **Hp3581A** с установкой **RBW = 3 Гц**. С помощью его электромагнитного индикатора можно производить отсчёт уровня принятого сигнала в единицах dBV, или в микровольтах. Для достоверности регистрации спектральной плотности нужного сигнала с помощью виртуального **измерителя типа Pico ADC — 216**, или **АКИП-4110/4**, такой измеритель можно подсоединить к **специальному выходу регенерируемого принятого Hp3581A входного сигнала**.

11. Можно провести оценку возможного уровня приёма на пересечённой местности сигнала антенной МА№ 2 при значении её «Действующей Высоты», равном **0.18 м** на частоте **49.1 КГц** излученного Моделью ЛМА№ 20м1 при амплитудном значении тока «возбуждения, равном **5 А** путём моделирования происходящих процессов в ЛМА, как типичного представителя Магнитного Диполя Герца, исследуя уравнения, используемые автором в его работах [**2, 3, 4, 5**] с помощью компьютерной программы [**6**].

Ниже размещена копия рабочего материала расчетов параметров виртуальной модели антенны ЛМА№ 20м1 по этим уравнениям для дистанций 10 и 1000 м с помощью данной компьютерной программы.

LMA#20m1 Lo=34.7 mkH, lm=1.0, lc=0.5m, N1=N2=64
dc=6.8cm, dm=3cm, mu=48

$\mu o=4\cdot\pi\cdot10^{-7}\cdot henry$ (1 - 1) $dc:=0.068\cdot m$ $N:=64$ $lc:=0.5\cdot m$ $fl:=49100\cdot Hz$

$$Lot:=\frac{(\pi\cdot dc\cdot N)^2\cdot10^{-7}\cdot henry}{(lc+0.45\cdot dc)\cdot m}\quad(1-2)\qquad Lot=3.523\cdot10^{-5}\ \cdot henry\qquad \mu eff1:=48$$

$La1:=\mu eff1\cdot Lot$ (1 - 4) $La1=1.691\cdot10^{-3}\ \cdot henry$ (1 - 5)

$i=\sqrt{-1}$ $lm:=1\cdot m$ $D1:=1000\ m$ $D2:=\frac{D1}{100}$ $D:=D1$ $\varepsilon o=8.854187817\cdot10^{-12}\cdot\frac{farad}{m}$

$\pi=3.142$ $e=2.718$ $e^{i}=0.54+0.841i$ $e^{-i}=0.54-0.841i$

$\mu o=4\cdot\pi\cdot10^{-7}\cdot\frac{henry}{m}$ $\mu r:=1$ $\theta:=0$ $\varepsilon r:=1$ $\varepsilon o=8.854187817\cdot10^{-12}\cdot\frac{farad}{m}$

$\mu o=1.257\cdot10^{-6}\ \cdot\frac{henry}{m}$ $\varepsilon o=8.854\cdot10^{-12}\ \cdot\frac{farad}{m}$ $\mu o=1.257\cdot10^{-6}\ \cdot m^{-1}\cdot henry$

$\varepsilon:=\varepsilon r\cdot\varepsilon o$ $co:=\frac{1}{\sqrt{\mu o\cdot\varepsilon o}}$ $co=2.998\cdot10^{8}\ \cdot m\cdot s^{-1}$ $\varepsilon r:=1$

$co=2.998\cdot10^{8}\ \cdot m\cdot s^{-1}$ $cr:=co\cdot\sqrt{\frac{\mu r}{\varepsilon r}}$ $\lambda o1:=\frac{co}{fl}$ $cr=2.998\cdot10^{8}\ \cdot m\cdot s^{-1}$

$\lambda o1=6.106\cdot10^{3}\ \cdot m$ $\alpha o:=2\cdot\frac{\pi}{\lambda o1}$ $\alpha o=1.029\cdot10^{-3}\ \cdot m^{-1}$ $\psi o1:=2\cdot D\cdot\frac{\pi}{\lambda o1}$

$\psi o1=1.029$ $\lambda r1:=\frac{cr}{fl}$ $\lambda r1=6.106\cdot10^{3}\ \cdot m$ $\alpha r1:=2\cdot\frac{\pi}{\lambda r1}$

$\psi r1:=2\cdot D\cdot\frac{\pi}{\lambda r1}$ $\psi r1=1.029$ $Wo:=\sqrt{\frac{\mu o}{\varepsilon o}}$ $Wo=376.73\cdot ohm$ $Wr:=\sqrt{\frac{\mu r}{\varepsilon r}}\cdot Wo$

$Wr=376.73\cdot ohm$ $N=64$

$$mE_{\phi}=Jm\cdot\frac{lm}{(4\cdot\pi)}\cdot\left(D^{-2}+i\cdot\lambda^{-1}\cdot D^{-1}\right)\cdot e^{-i\cdot\alpha\cdot D}\cdot\cos(\theta)$$

$$mH_{\theta}=Jm\cdot lm\cdot\frac{\lambda}{4\cdot\pi\cdot W_0}\cdot\left(-i\cdot D^{-3}+\lambda^{-1}\cdot D^{-2}+\lambda^{-2}\cdot D^{-1}\right)\cdot e^{-i\cdot\alpha\cdot D}\cdot\cos(\theta)$$

$$mH_{\rho}=Jm\cdot lm\cdot\frac{\lambda}{4\cdot\pi\cdot W_0}\cdot\left(-i\cdot D^{-3}+\lambda^{-2}\cdot D^{-1}\right)\cdot e^{-i\cdot\alpha\cdot D}\cdot\sin(\theta)\qquad Iam:=5\cdot A\qquad Qa1:=34.2$$

$BW1:=\frac{fl}{Qa1}$ $BW1=1.436\cdot10^{3}\ \cdot Hz$ $\omega1:=2\cdot\pi\cdot fl$ $\omega1=6.283\cdot fl$ $fl=4.91\cdot10^{4}\ \cdot Hz$

$$Lo(dc,lc,N):=\frac{(\pi\cdot dc\cdot N)^2\cdot10^{-7}\cdot henry}{(lc+0.45\cdot dc)\cdot m}\qquad Lo(dc,lc,N)=3.523\cdot10^{-5}\ \cdot henry$$

$N=64$ $\mu eff1=48$ $Qa1:=i\cdot34.2$

$La1(dc,lc,N):=\mu eff1\cdot Lo(dc,lc,N)$ $La(dc,lc,N):=La1(dc,lc,N)$

$$Xa1(dc,lc,N,\omega1) := i\cdot\omega1\cdot La1(dc,lc,N) \qquad Xa1(dc,lc,N,\omega1) = 521.69i\ ohm$$

$$Uam1(dc,lc,N) := Iam\cdot Xa1(dc,lc,N,\omega1) \quad Uam1(dc,lc,N) = 2.608\cdot10^{3}\,i\ V \quad Rn := \frac{Xa1(dc,lc,N,\omega1)}{Qa1}$$

$$\left|Xa1(dc,lc,N,\omega1)\right| = 521.69\ ohm \qquad Coa := \frac{-1}{Xa1(dc,lc,N,\omega1)\cdot\omega1\cdot i} \quad Coa = 6.213\cdot10^{-9}\ farad$$

$$mE_{\phi} = Jm\cdot\frac{lm}{(4\cdot\pi)}\cdot\left(D^{-2}+i\cdot\lambda^{-1}\cdot D^{-1}\right)\cdot e^{-i\cdot\alpha\cdot D}\cdot\cos(\theta) \quad \lambda o1 = 6.106\cdot10^{3}\ m \qquad Rn = 15.254\ ohm$$

$$mH_{\theta} = Jm\cdot lm\cdot\frac{\lambda}{4\cdot\pi\cdot W_0}\cdot\left(-i\cdot D^{-3}+\lambda^{-1}\cdot D^{-2}+\lambda^{-2}\cdot D^{-1}\right)\cdot e^{-i\cdot\alpha\cdot D}\cdot\cos(\theta)\, Lo(dc,lc,N) = 3.523\cdot10^{-5}\ henry$$

$$mH_{\rho} = Jm\cdot lm\cdot\frac{\lambda}{4\cdot\pi\cdot W_0}\cdot\left(-i\cdot D^{-3}+\lambda^{-2}\cdot D^{-1}\right)\cdot e^{-i\cdot\alpha\cdot D}\cdot\sin(\theta) \qquad \theta := 0 \qquad J := 1 \qquad D = 1\cdot10^{3}\ m$$

$$Ea1(dc,lc,N) := \frac{Uam1(dc,lc,N)}{\pi\cdot dc\cdot N} \qquad Ea1(dc,lc,N) = 190.785i\ \frac{V}{m}$$

$$\left[\frac{lm}{4\cdot\pi}\cdot\left(dc^{-2}+i\cdot\lambda o1^{-1}\cdot dc^{-1}\right)\cdot e^{-i\cdot\alpha o\cdot dc}\cdot\cos(\theta)\right] = 17.21-1.013\cdot10^{-3}\,i\ m^{-1}$$

$$Ja1 := \frac{Ea1(dc,lc,N)}{\left[J\cdot\frac{lm}{(4\cdot\pi)}\cdot\left(dc^{-2}+i\cdot\lambda o1^{-1}\cdot dc^{-1}\right)\cdot e^{-i\cdot\alpha o\cdot dc}\cdot\cos(\theta)\right]} \quad Ja1 = -6.523\cdot10^{-4}+11.086i\ V$$

$$\left|Ja1\right| = 11.086\ V \qquad \theta = 0 \qquad v1 := \frac{\left|Ja1\right|}{Iam} \quad v1 = 2.217\ ohm$$

$$\alpha o = 1.029\cdot10^{-3}\ m^{-1}$$

$$e^{-i\cdot\alpha o\cdot D} = 0.516-0.857i \qquad \cos(\theta) = 1$$

$$mE\phi1(D,lm,\lambda o1,\alpha o,\theta) := Ja1\cdot\frac{lm}{(4\cdot\pi)}\cdot\left(D^{-2}+i\cdot\lambda o1^{-1}\cdot D^{-1}\right)\cdot e^{-i\cdot\alpha o\cdot D}\cdot\cos(\theta)$$

$$mE\phi1(D,lm,\lambda o1,\alpha o,\theta) = 6.813\cdot10^{-7}+5.787\cdot10^{-7}\,i \quad \left|mE\phi1(D,lm,\lambda o1,\alpha o,\theta)\right| = 8.939\cdot10^{-7}\ \frac{V}{m}$$

For MA#2 $\quad Heff1 := 0.18\cdot m$

1 $\quad D = 1\cdot10^{3}\ m$

$$U1outMA2 := Heff1\left|mE\phi1(D,lm,\lambda o1,\alpha o,\theta)\right|$$

$$U1outMA2 = 1.609\cdot10^{-7}\ V \qquad Jm := Ja1$$

$$mH\theta1(D,\lambda o1,\alpha o,Ja1,lm,Wo,\theta) := \left(Ja1\cdot lm\cdot\frac{\lambda o1}{4\cdot\pi\cdot Wo}\right)\left[-i\cdot D^{-3}+\lambda o1^{-1}\cdot D^{-2}+(\lambda o1)^{-2}\cdot D^{-1}\right]\cdot e^{-i\cdot\alpha o\cdot D}\cdot c$$

$$mH\theta1(D,\lambda o1,\alpha o,Ja1,lm,Wo,\theta) = 9.708\cdot10^{-9}-1.084\cdot10^{-8}\,i\ m^{-1}\cdot A$$

$$|mH\theta1(D,\lambda o1,\omega o,Ja1,lm,Wo,\theta)| = \quad \cdot m^{-1}\cdot A$$

$$U12outMA2 := Wo\cdot Heff1\cdot|mH\theta1(D,\lambda o1,\omega o,Ja1,lm,Wo,\theta)| \quad U12outMA2 = 9.87\cdot10^{-7}\cdot V$$

$$mH\rho1(Ja1,lm,\lambda o1,\omega o) := Ja1\cdot lm\cdot\frac{\lambda o1}{4\cdot\pi\cdot Wo}\cdot\left(-i\cdot D^{-3}+\lambda o1^{-2}\cdot D^{-1}\right)\cdot e^{-i\cdot\omega o\cdot D}\cdot\sin(\theta) \quad Iam = 5\cdot A$$

$$|Ja1| = 11.086\cdot V$$

$$mH\rho1(Ja1,lm,\lambda o1,\omega o) = 0\cdot m^{-1}\cdot A \quad U\Sigma1outMA2 := \sqrt{(|U11outMA2|)^2+(|U12outMA2|)^2}$$

$$U\Sigma1outMA2 = 1\cdot10^{-6}\cdot V \quad E := \frac{U\Sigma1outMA2}{Heff1} \quad \frac{\lambda o1}{2\cdot\pi} = 971.761\cdot m \quad E = 5.556\cdot10^{-6}\cdot\frac{V}{m}$$

$$Ktr := \sqrt{\left(\frac{Rn}{6\cdot ohm}\right)} \quad Ktr = 1.594 \quad Rn = 15.254\cdot ohm$$

$$Pasum := Iam^2\cdot\frac{Rn}{2} \quad Esum := E \quad Esum = 5.556\cdot10^{-6}\cdot\frac{V}{m}$$

$$UoutMA2 := Esum\cdot Heff1 \quad UoutMA2 = 1\cdot10^{-6}\cdot V \quad Pasum = 190.676\cdot watt$$

$$2 \quad D := D2 \quad D2 = 10\cdot m$$

$$U11outMA2 := Heff1\cdot|mE\phi1(D,lm,\lambda o1,\omega o,\theta)| \quad U11outMA2 = 1.588\cdot10^{-3}\cdot V \quad Jm := Ja1$$

$$mH\theta1(D,\lambda o1,\omega o,Ja1,lm,Wo,\theta) := \left(Ja1\cdot lm\cdot\frac{\lambda o1}{4\cdot\pi\cdot Wo}\right)\cdot\left[-i\cdot D^{-3}+\lambda o1^{-1}\cdot D^{-2}+(\lambda o1)^{-2}\cdot D^{-1}\right]\cdot e^{-i\cdot\omega o\cdot D}\cdot\cos($$

$$mH\theta1(D,\lambda o1,\omega o,Ja1,lm,Wo,\theta) = 0.014-1.228\cdot10^{-4}i \quad \cdot m^{-1}\cdot A$$

$$|mH\theta1(D,\lambda o1,\omega o,Ja1,lm,Wo,\theta)| = 0.014\cdot m^{-1}\cdot A$$

$$U12outMA2 := Wo\cdot Heff1\cdot|mH\theta1(D,\lambda o1,\omega o,Ja1,lm,Wo,\theta)| \quad U12outMA2 = 0.97\cdot V$$

$$mH\rho1(Ja1,lm,\lambda o1,\omega o) := Ja1\cdot lm\cdot\frac{\lambda o1}{4\cdot\pi\cdot Wo}\cdot\left(-i\cdot D^{-3}+\lambda o1^{-2}\cdot D^{-1}\right)\cdot e^{-i\cdot\omega o\cdot D}\cdot\sin(\theta) \quad |Ja1| = 11.086\cdot V$$

$$mH\rho1(Ja1,lm,\lambda o1,\omega o) = 0\cdot m^{-1}\cdot A \quad U\Sigma1outMA2 := \sqrt{(|U11outMA2|)^2+(|U12outMA2|)^2}$$

$$U\Sigma1outMA2 = 0.97\cdot V \quad E := \frac{U\Sigma1outMA2}{Heff1} \quad E = 5.386\cdot\frac{V}{m}$$

$$Ktr := \sqrt{\left(\frac{Rn}{6\cdot ohm}\right)} \quad Ktr = 1.594 \quad Rn = 15.254\cdot ohm \quad Pasum := Iam^2\cdot\frac{Rn}{2} \quad Esum := E$$

$$Esum = 5.386\cdot\frac{V}{m} \quad UoutMA2 := Esum\cdot Heff1 \quad UoutMA2 = 0.97\cdot V \quad Pasum = 190.676\cdot watt$$

12. В результате этих расчётов **а**) на дистанции **10 метров** теоретически амплитудное значение антенной МАN№ 2 принятого сигнала равно **0.97 В**, что соответствует уровню **— 0.26 dBV**, а эффективное теоретическое значение электрической составляющей напряжённости поля равно **3.82 В/м.** Что находится с инженерной точкой зрения близко к экспериментально полученным (описанным в п.11д) их значениям, соответственно, **0.861 В** и **3.421 В/м.**

б) На дистанции **1000 м** теоретически амплитудное значение антенной МАN№ 2 принятого сигнала равно **1 мкВ**, что соответствует уровню –120 **dBV** , а эффективное теоретическое значение

электрической составляющей напряжённости равно **55.6 мкВ/м.**

Концом «Ближней зоны» излучения для частоты **49.1 КГц** является дистанция **972.4 м**.

13. Для уверенной регистрации антенной **MAN№ 2** излучения модели **ЛМАN№ 201м** на пересечённой местности автор предполагает использовать в режим **C W** в пределах частоты несущей **от 48 КГц до 52 КГц** им приобретённый усилитель мощности типа **RMX 2450s, внешний**, вид которого представлен на **Фото. 8 и 9** в момент его использования в лабораторном помещении при очередном тесте регистрации антенной **MAN№ 2** сигнала, излученного передающей моделью **ЛМАN№ 20м1**.

Фото.8.

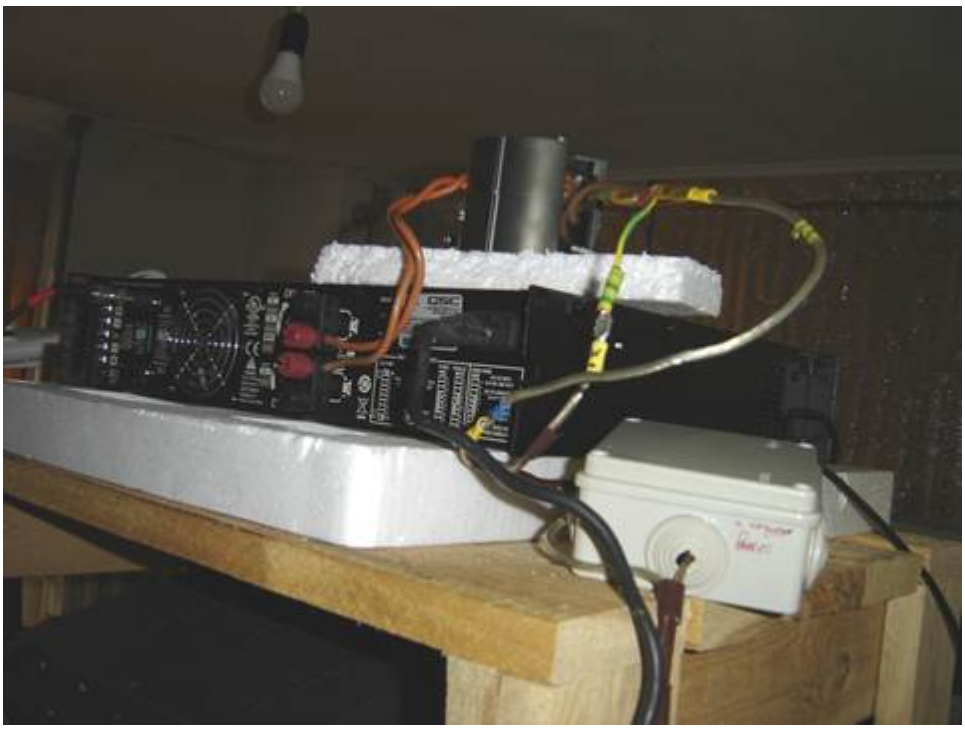
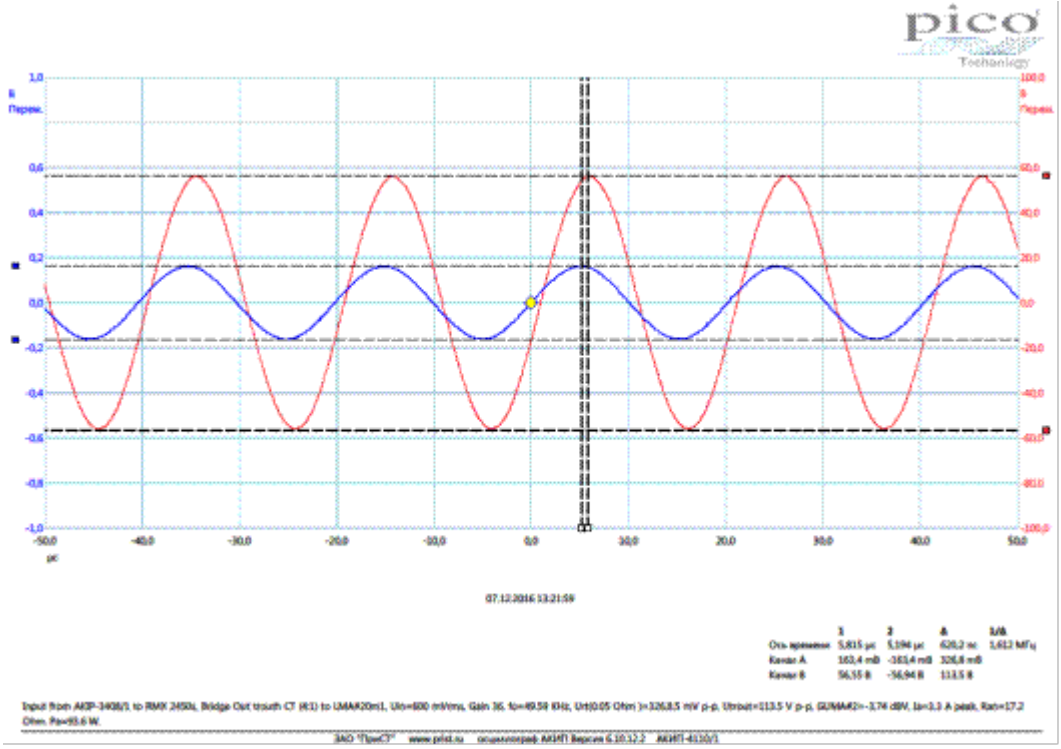


Фото.9.

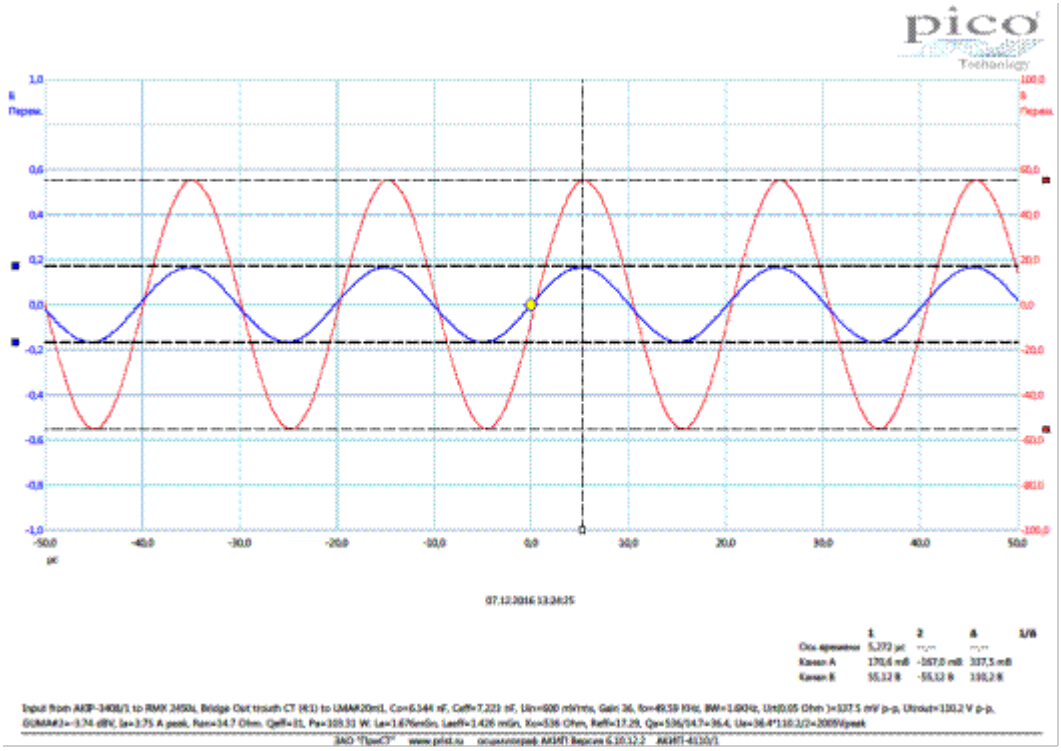
Можно видеть сверху корпуса данного УМ на Фото. 9 размещенный трансформатор,

согласующий выходное сопротивление данного УМ с активным сопротивлением эквивалентных потерь антенного контура последовательного резонанса тока «возбуждения» передающей антенны ЛМА№ 20м1 в момент совпадения транслируемой несущей частоты с частотой собственного резонанса в данном контуре. А с боку УМ там же можно видеть упомянутую ранее пластиковую измерительную коробку для измерения напряжения на калиброванном сопротивлении 0.05 Ом и напряжения поданного на фидер питания током «возбуждения» продольного магнитного поля в теле антенны ЛМА№ 20м1.

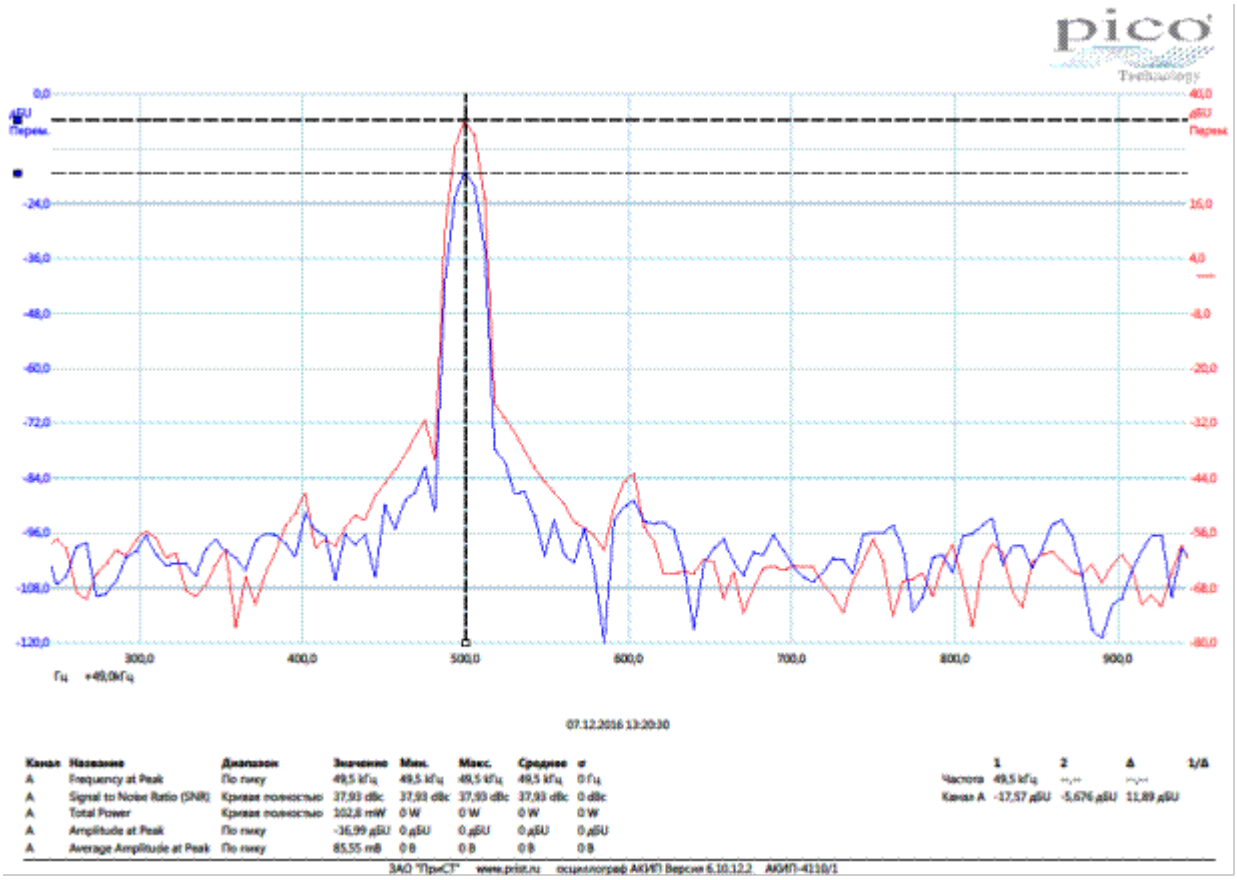
14. Ниже приведены в лабораторных условиях изображения пробных измерений в заданных контрольных точках данного теста.



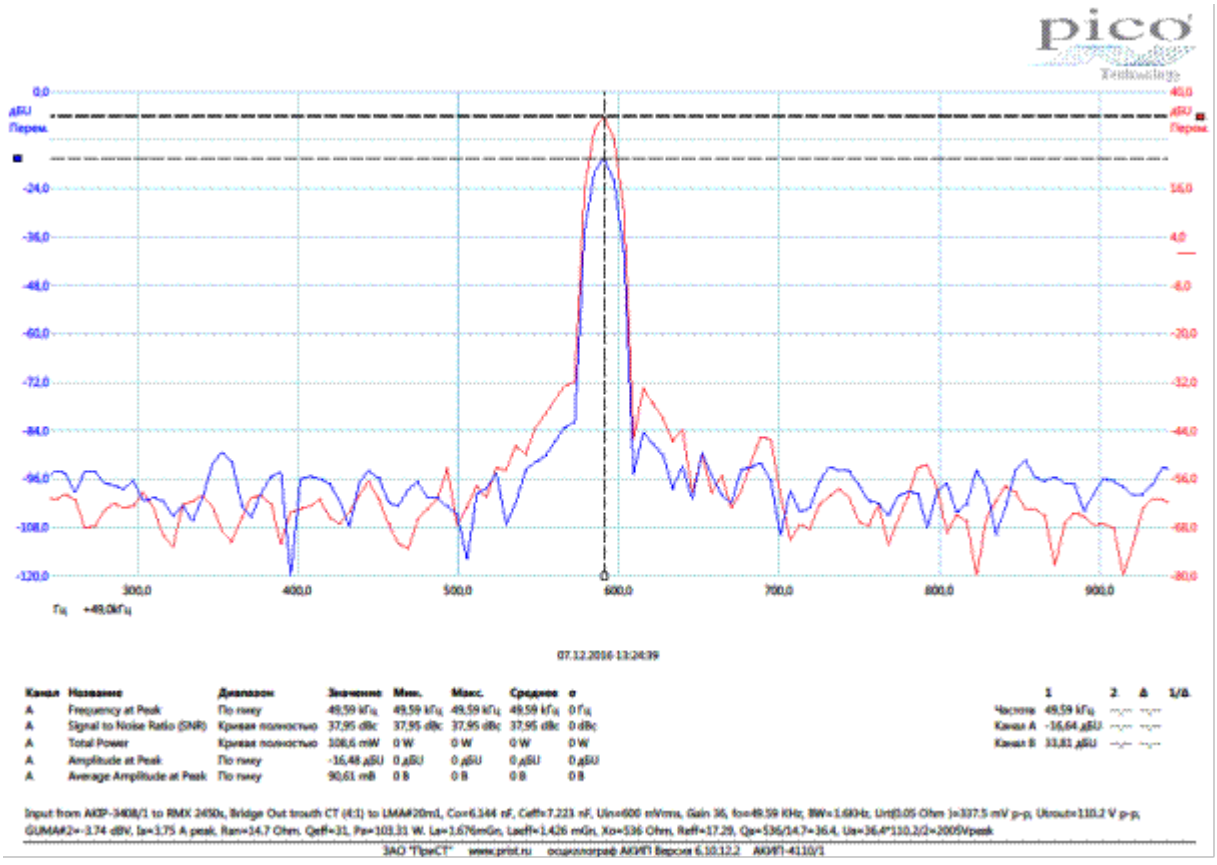
Изо. 24.



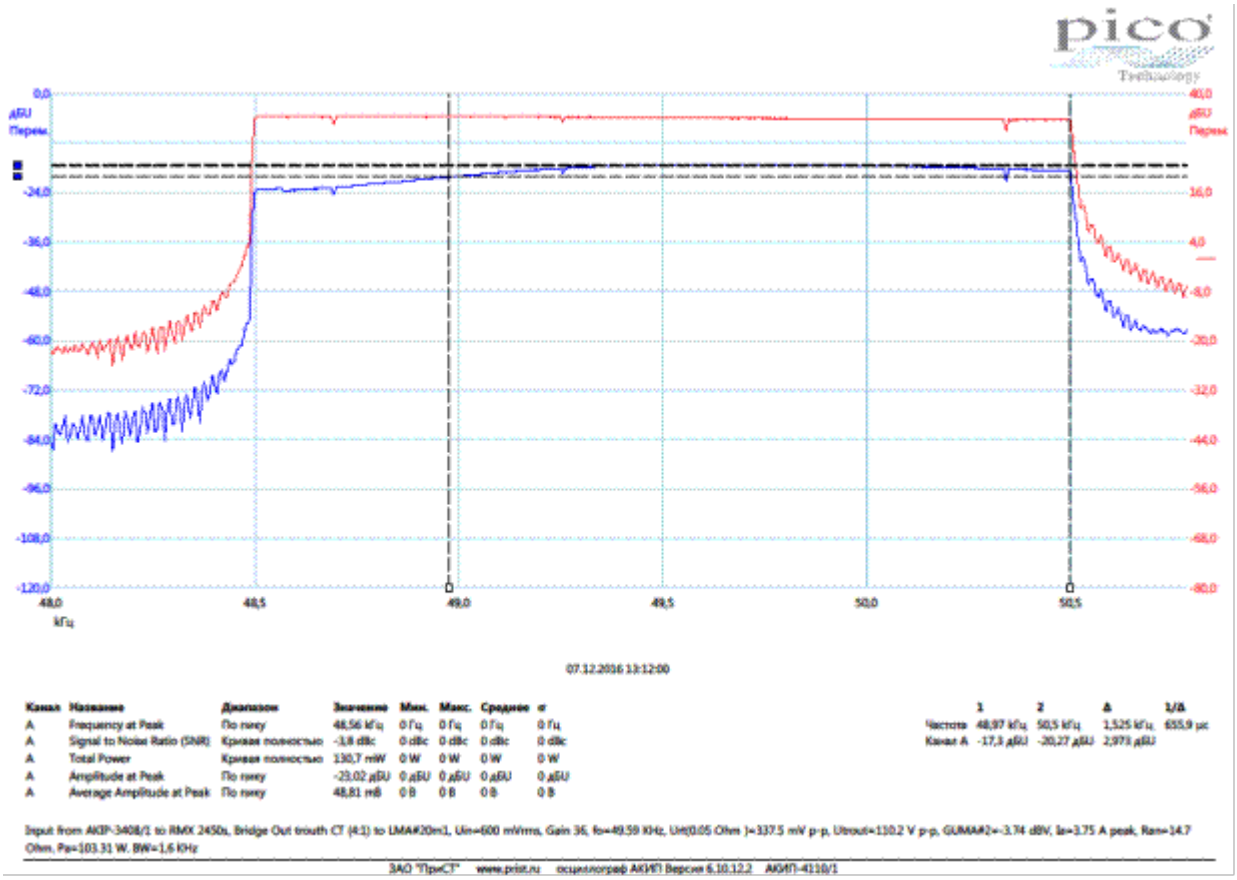
Изо. 25.



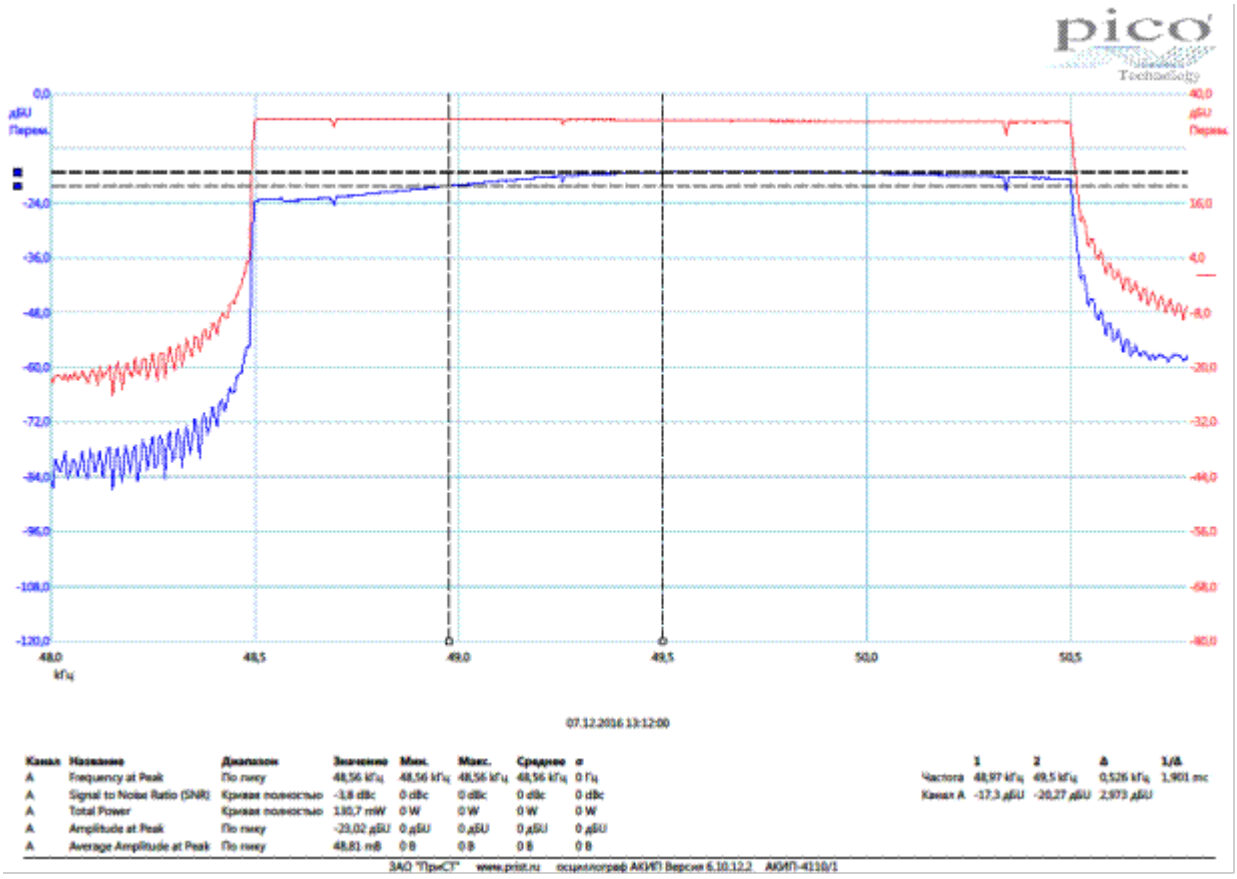
Изо. 26.



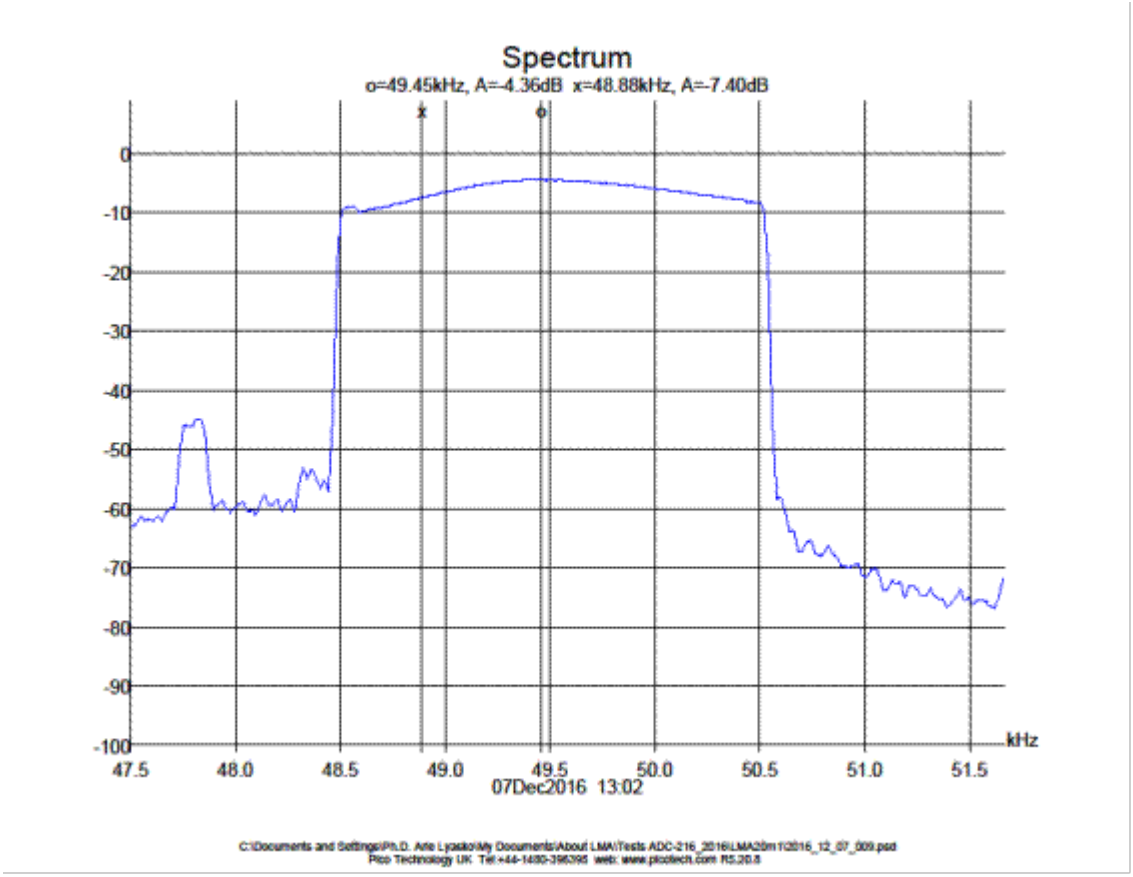
Изо. 27.


pico
Technology
07.12.2016 13:12:00
Input from AKIP-3408/1 to RMX 2450s, Bridge Out trouth CT (4:1) to LMA#20m1, Uin=600 mVrms, Gain 36, fo=49.59 KHz, Uit(0.05 Ohm)=337.5 mV p-p, Utrout=110.2 V p-p, GUMA#2=-3.74 dBV, Ia=3.75 A peak, Ran=14.7 Ohm, Pa=103.31 W, BW=1,6 KHz
ЗАО "ПриСТ" www.prist.ru осциллограф АКИП Версия 6.10.12.2 АКИП-4116/1

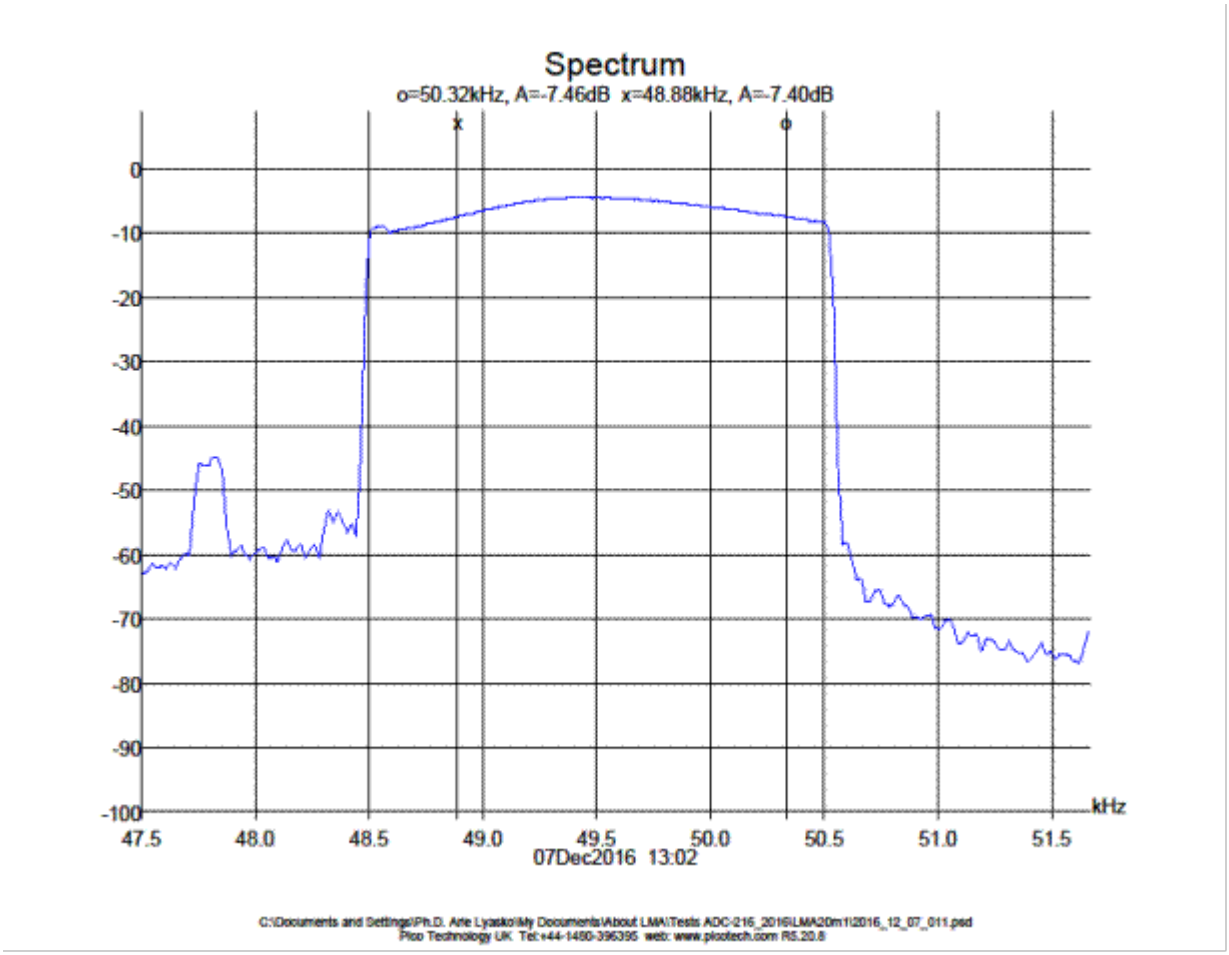
Изо. 28.


pico
Technology
07.12.2016 13:12:00
ЗАО "ПриСТ" www.prist.ru осциллограф АКИП Версия 6.10.12.2 АКИП-4116/1

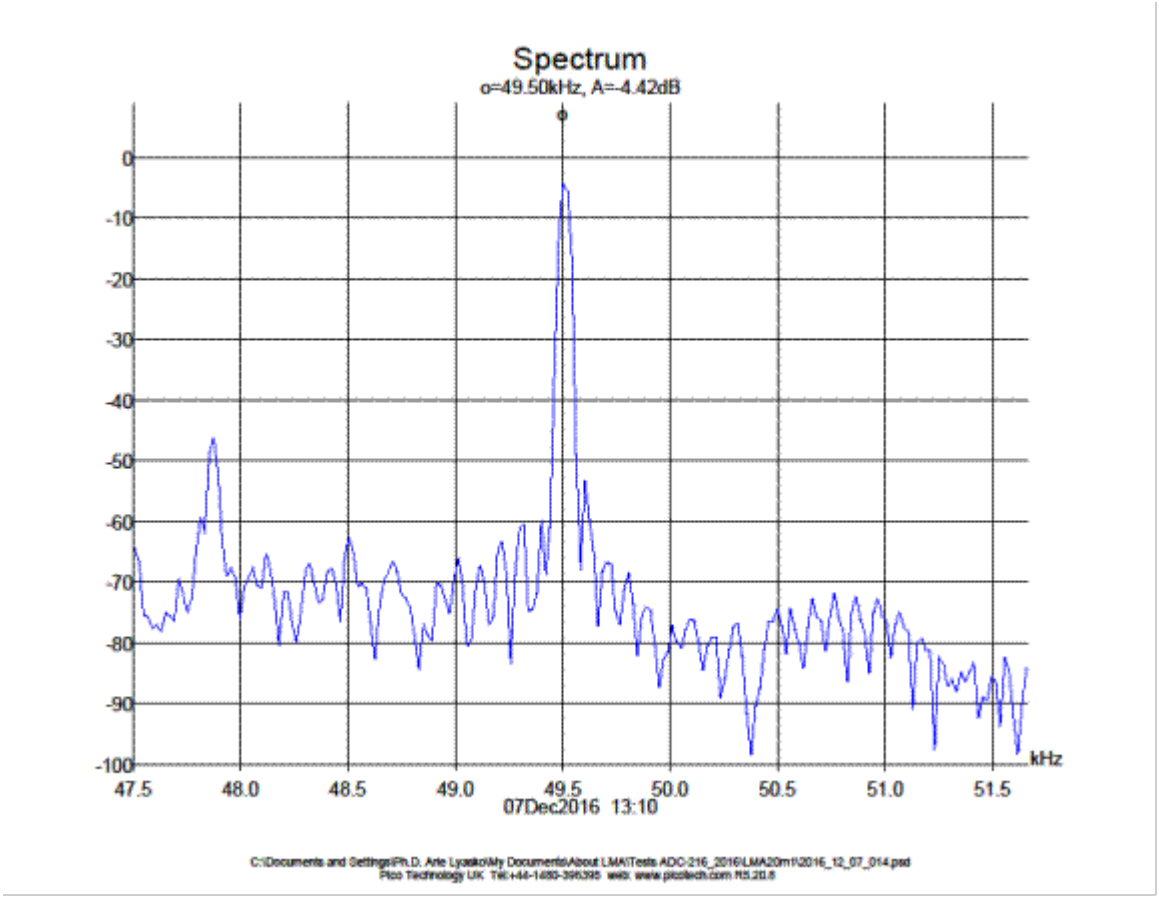
Изо. 29.


Spectrum
o=49.45kHz, A=-4.36dB x=48.88kHz, A=-7.40dB
x
o
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
47.5
48.0
48.5
49.0
49.5
50.0
50.5
51.0
51.5
kHz
07Dec2016 13:02
C:\Documents and Settings\Ph.D. Arle Lyasko\My Documents\About LMA\Tests ADC-216_2016\LMA2Dm1\2016_12_07_009.psd
Pico Technology UK Tel:+44-1480-396395 web: www.picotech.com R5.20.8

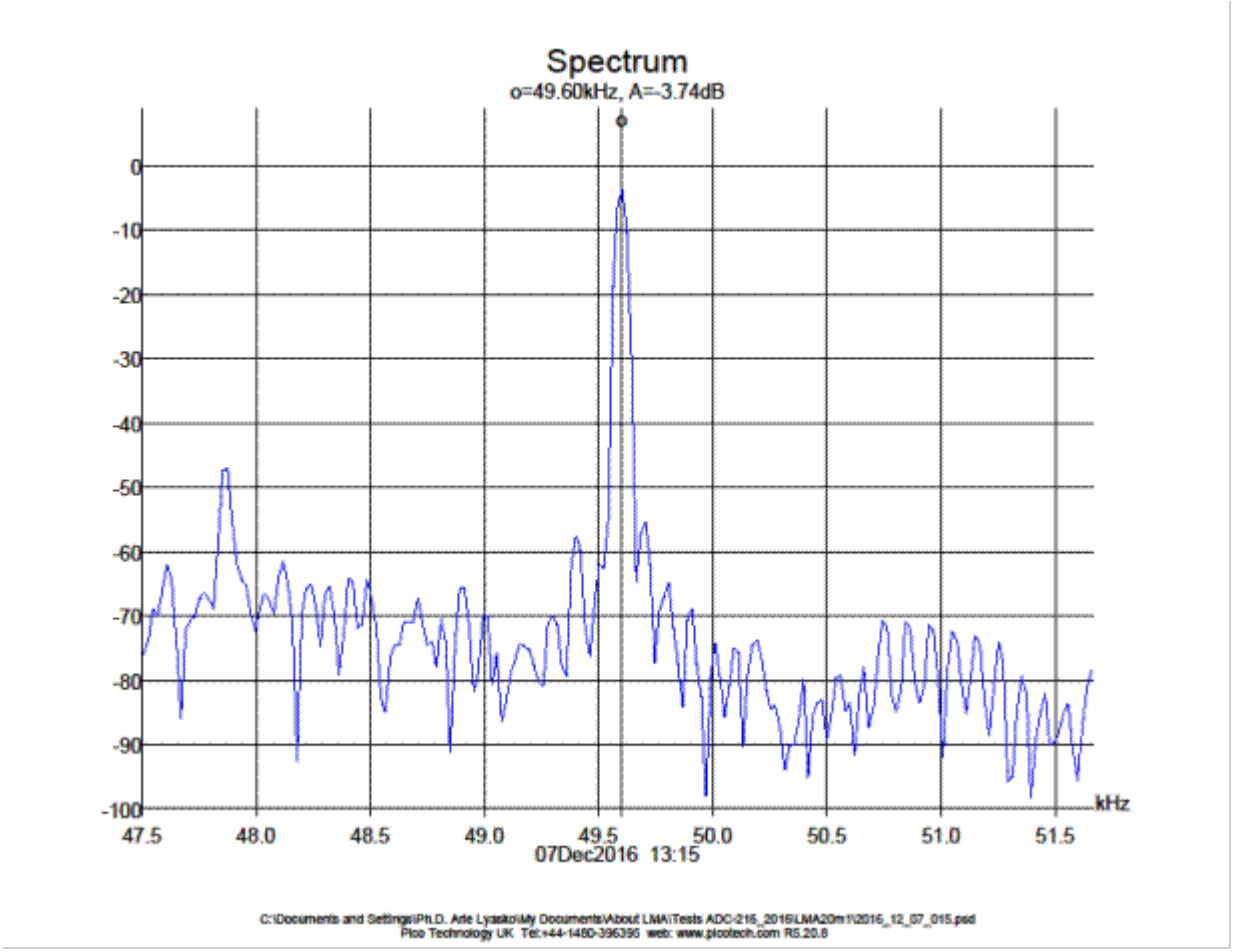
Изо. 30.


Spectrum
o=50.32kHz, A=-7.46dB x=48.88kHz, A=-7.40dB
x
o
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
47.5
48.0
48.5
49.0
49.5
50.0
50.5
51.0
51.5
kHz
07Dec2016 13:02
C:\Documents and Settings\Ph.D. Arle Lyasko\My Documents\About LMA\Tests ADC-216_2016\LMA2Dm1\2016_12_07_011.psd
Pico Technology UK Tel:+44-1480-396395 web: www.picotech.com R5.20.8

Изо. 31.


Spectrum
σ=49.50kHz, A=-4.42dB
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
47.5
48.0
48.5
49.0
49.5
50.0
50.5
51.0
51.5
kHz
07Dec2016 13:10
C:\Documents and Settings\Ph.D. Arle Lyasko\My Documents\About LMA\Tests ADC-216_2016\LMA20m1\2016_12_07_014.psd
Pico Technology UK Tel:+44-1480-396395 web: www.picotech.com R5.20.8

Изо. 32.


Spectrum
σ=49.60kHz, A=-3.74dB
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
47.5
48.0
48.5
49.0
49.5
50.0
50.5
51.0
51.5
kHz
07Dec2016 13:15
C:\Documents and Settings\Ph.D. Arle Lyasko\My Documents\About LMA\Tests ADC-216_2016\LMA20m1\2016_12_07_015.psd
Pico Technology UK Tel:+44-1480-396395 web: www.picotech.com R5.20.8

Изо. 33.

В тексте внизу этих изображений приведены соответствующие расчётные данные в интересуемых точках измерения, а именно, величины напряжения на выходе согласующего трансформатора и напряжение на калиброванном сопротивлении 0.05 Ом с целью расчёта необходимых параметров как приёмной так и передающей антенн.

Данный УМ с использованием модели ЛМА№ 20м1 и модели МА№ 2 будет в ближайшее время использован в грядущих тестах этих моделей на пересечённой местности.

***Литература*:**

1. *А.Б. Ляско, Патент РФ № 2428774 на изобретение «Передающие Линейные Магнитные 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*
6. *Программа » MathCAD MathSoft, Ink."*