

# О сдвоенной модели передающей линейной магнитной антенны электромагнитных волн для морских испытаний на частоте менее 1 кГц (часть 2)

Ляско Арий Борисович  
Радиоинженер,  
канд. физ.-мат. наук, Ph.D.

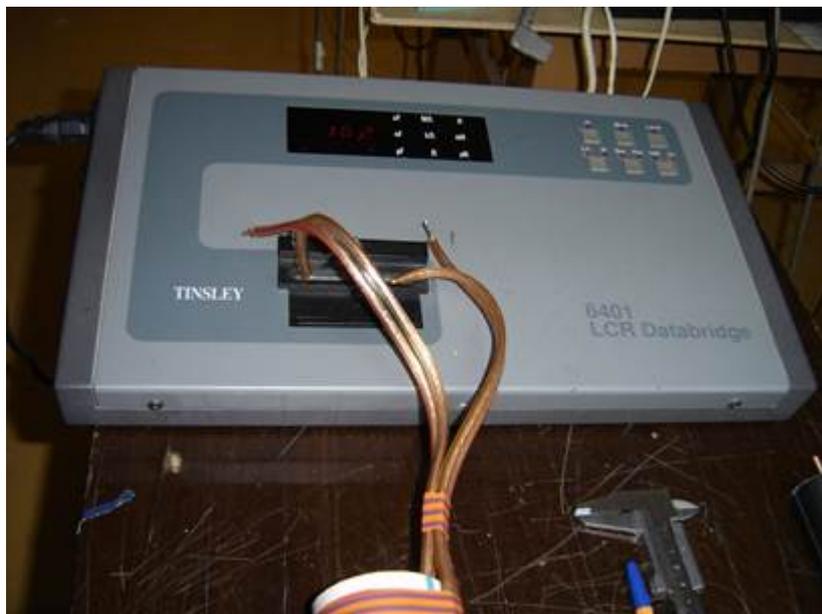
1. В качестве напоминания на **Фото.1** представлен вид удвоенной модели Передающей Линейной Магнитной Антенны (**ПЛМА**) в момент её стендовых испытаний. Она состоит из модели ЛМАН<sup>№</sup> 37 (снизу) и модели ЛМАН<sup>№</sup> 37м (сверху) в герметичных оболочках, размещённых параллельно друг над другом на расстоянии между их продольными осями .



**Фото.1.**

## 1.1 Некоторые основные характеристики моделей ЛМАН<sup>№</sup> 37 и ЛМАН<sup>№</sup> 37м.

Измеренные с помощью на частоте , представленного на **Фото.2** в момент измерения в отсутствии магнитопровода параметров соленоида «возбуждения» продольного магнитного потока для одной из моделей ЛМА, приведены ниже:



**Фото.2.**

а) индуктивность , сопротивление потерь  $r_s$  и добротность соленоида  $Q$  продольного магнитного поля «возбуждения» без магнитопровода имеют следующие значения:

для модели — , а для

б) индуктивность , сопротивление потерь  $r_s$  и добротность  $Q$  соленоида продольного магнитного поля «возбуждения» в присутствии магнитопровода :

для модели , и для

**1.2.** Величина эквивалентной резонансной емкости в резонансной антенной цепи тока «возбуждения» блоков конденсаторов, представленных на **Фото.1**, измеренная на частоте **1 КГц**, равна .

**1.3.** Производилась оценка коэффициента взаимной индукции индуктивностей обмоток тока «возбуждения» между этими двумя моделями ПЛМА путём обработки результатов анализа **АЧХ Изо.1, Изо 2,Изо.3, Изо.4.** Величину считаем положительной, если эквивалентная величина индуктивности антенного контура тока «возбуждения» удвоенной модели ПЛМА обладает большей величиной при том же значении контурной емкости при осуществлённом варианте последовательного соединения концов обмоток соленоидов «возбуждения» Положение пика огибающих кривых «синего» и «зелённого» цвета на **Изо.1** и **Изо.2** находится в более высокой области по оси частот, чем положение пика огибающих кривых «синего» и «зелённого» цвета на **Изо.3** и **Изо.4.** Данный факт является свидетельством меньшей величины индуктивности антенного контура тока «возбуждения» удвоенной модели ПЛМА при осуществлённом и используемом в дальнейшем варианте подсоединения концов обмоток соленоидов модели и модели . Четыре цвета кривых используются при отображении результатов измерения с помощью виртуального цифрового четырёхканального осциллографа — спектр анализатора **АКИП-4110/1**, при этом — **Вход № 1** (канал А), — **Вход № 2** (канал Б), »- **Вход № 3** (канал В) и — **Вход № 4** (канал Г). В процессе мониторинга режима работы **УМ** и **удвоенной модели ПЛМА** на **Вход № 1** было подано падение напряжения на калибровочном сопротивлении

. На **Вход№ 2** было подано напряжение **Urtout** с выхода

. На **Вход № 3**

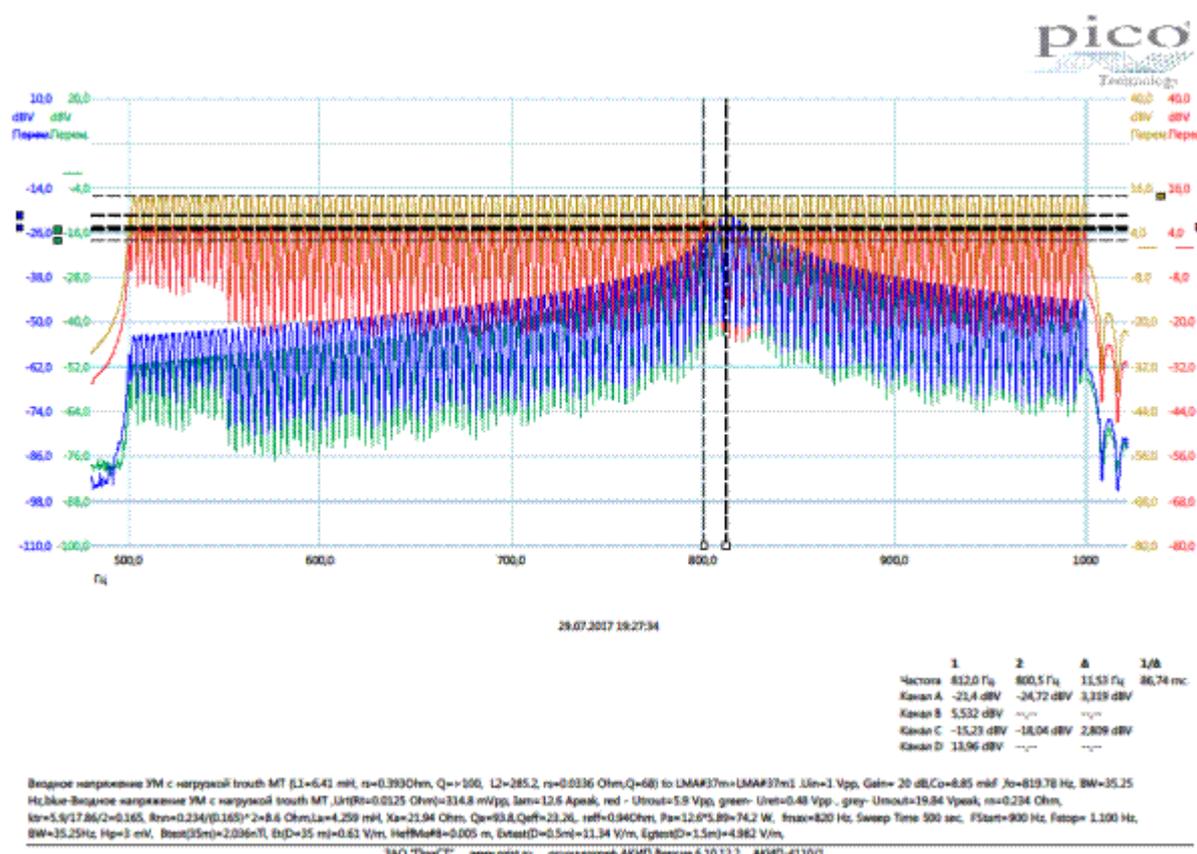
обхватившей торцовую часть внешних оболочек удвоенной модели ПЛМА, представленной на **Фото.1**). На **Вход № 4** было подано напряжение с

Итак, величина эквивалентной индуктивности может быть оценена с помощью вычислений по формуле:  $L_{\Sigma} = L_{12} + L_{21} + 2K_{\text{св}}M_{12}$  (1.3 — 1),  $M_{12} = \sqrt{L_{1x}L_{2x}}$  (1.3 — 2), где — эквивалентная величина индуктивности обмотки соленоида «возбуждения» модели ЛМАН<sup>№</sup> 37м, — эквивалентная величина индуктивности обмотки соленоида «возбуждения» модели ЛМАН<sup>№</sup> 37.

**а)** Для удвоенной модели ПЛМА существуют два способа последовательного подсоединения концов обмоток их соленоидов «возбуждения». Для АЧХ **Изо.3**. резонансное значение частоты несущей . поэтому с учётом значения (1.3 — 3 С учётом п.1.16 для модели и (1.3 — 4), поэтому (1.3 — 5) для расстояния между их осями.

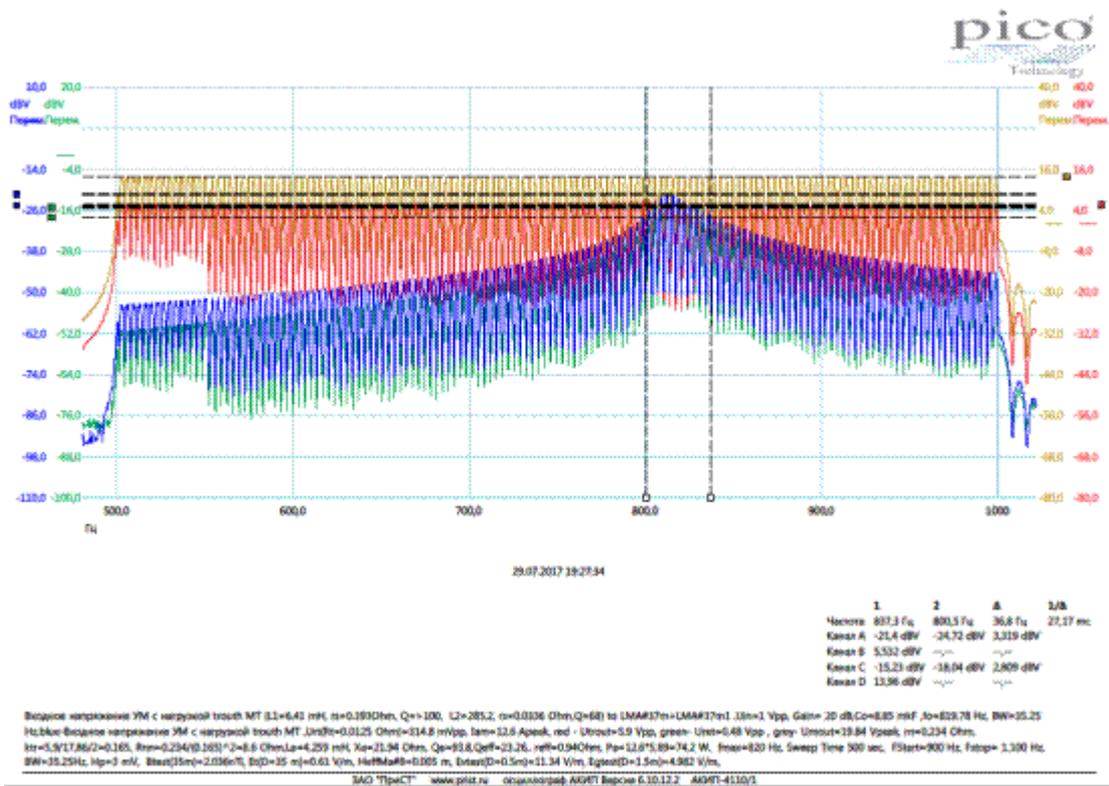
**б)** Тогда как для АЧХ **Изо.1** резонансное значение частоты несущей . поэтому с учётом значения (1.3 — 3 С учётом п.1.16 для модели и (1.3 — 4), поэтому - 0.06 (1.3 — 6) для расстояния между их осями.

**Именно по этой причине в дальнейшем был выбран именно данный способ последовательного соединения концов обмоток «возбуждения» моделей ПЛМА.**



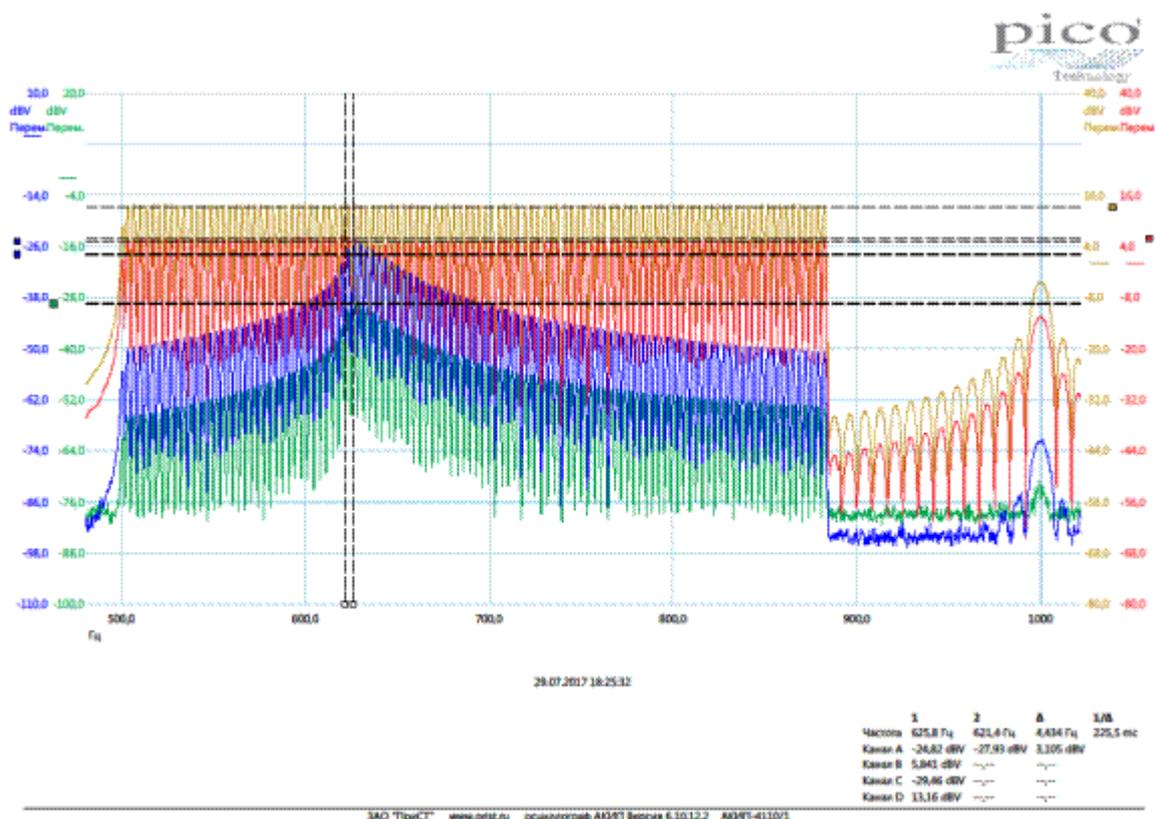
**Изо.1**

и

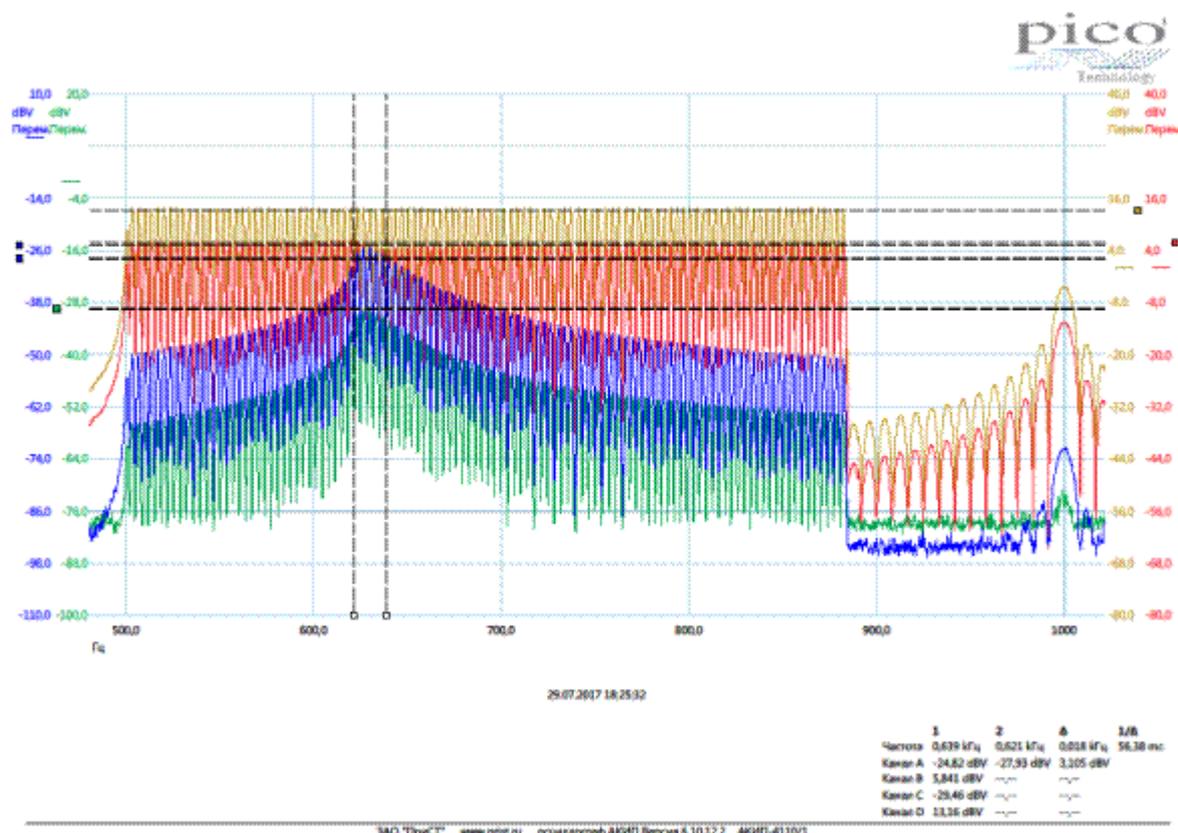


Изо.2.

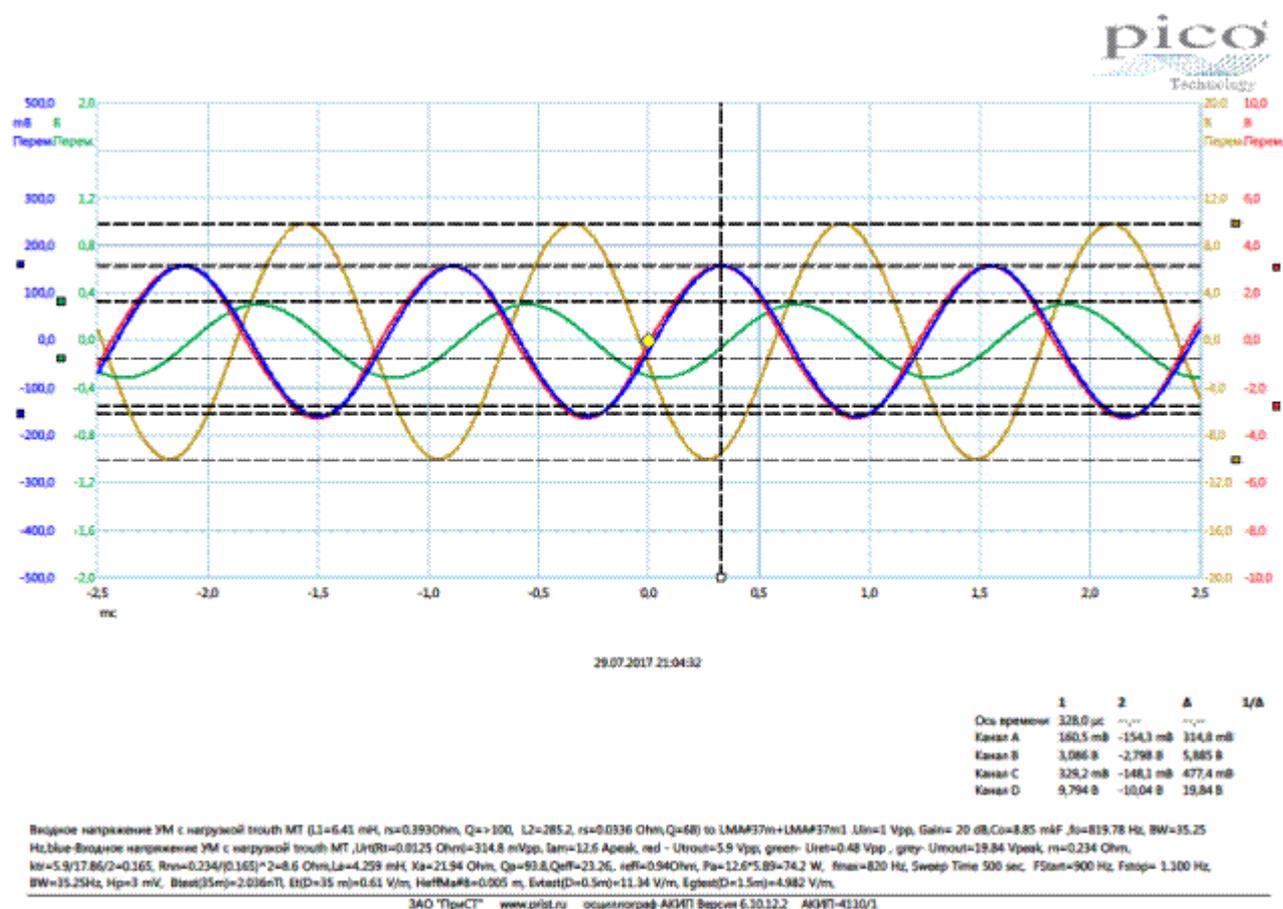
И



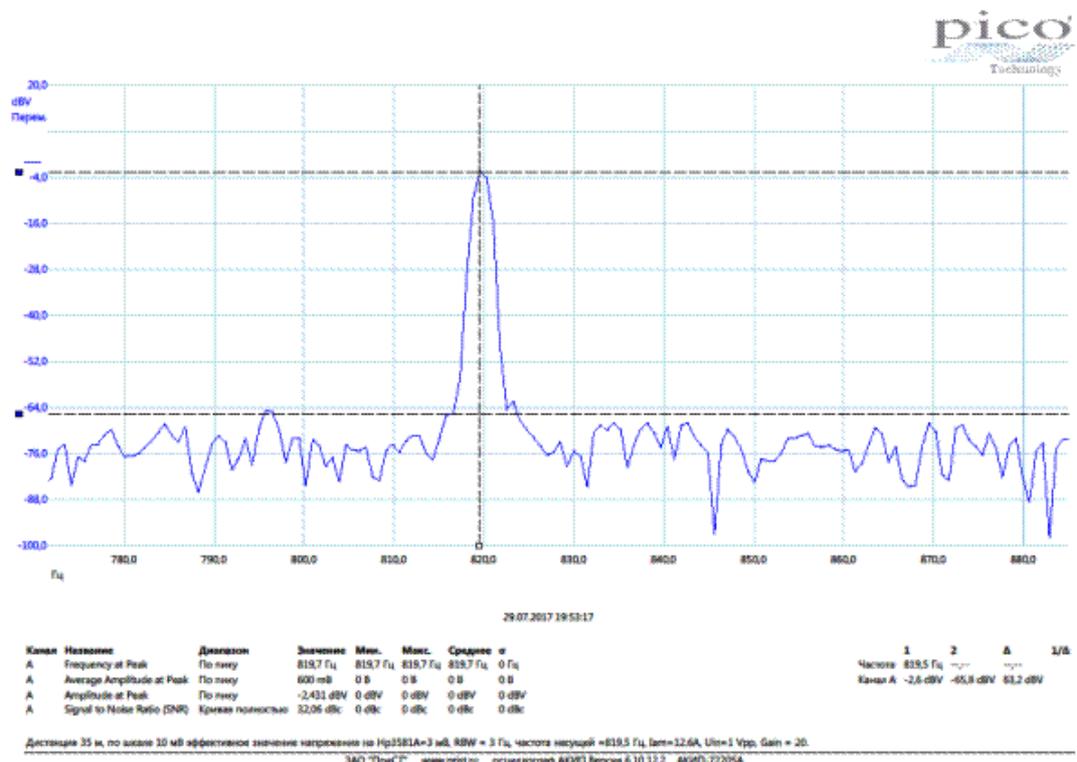
Изо.3.



Изо.4.



Изо.5



## Изо.6

**3.1.** Данные, представленные на **Изо.1**, **Изо.2**, **Изо.3**, **Изо.4**, **Изо.5** и **Изо.6** получены при значении положения много позиционного переключателя **УМ** в положении **КУ**, В этом случае в момент резонанса, когда протекаемый ток «возбуждения» по обмоткам соленоидов моделей ЛМАН<sup>№</sup> 37 и ЛМАН<sup>№</sup> 37м достигал амплитудного значения. Для случая Изо. 5 в силу нелинейности материала её магнитопроводов приходится путём плавного изменения сдвига фазы у сигналов, отображённых на **ВХ Изо.5** цветом (это напряжение и цветом (это напряжение за счёт плавного изменения частоты на выходе **ФГ** «ручкой» потенциометра плавной установки частоты, размещённой в правой верхней части передней панели **ФГ**, осуществлять совмещение пиков этих «кривых».

. При этом частота несущей. С помощью изображения АЧХ стало возможным определить на уровне  $-3$  дБ значение полосы пропускания антенного контура тока «возбуждения» и прочие важные параметры, указанные в тексте в нижней части **Изо.6**. В процессе наблюдения за формой контролируемых напряжений, представленных на **Изо.6** осуществлялся мониторинг величины зарегистрированного сигнала (см. **Изо.5**) разработанной и собственноручно изготовленной автором модели

внешний вид которой в герметичной цилиндрической оболочке (5 см- диаметр, 100 см — длина) серого цвета представлен на **Фото.3**. Экранированный двух жильный кабель выходного сигнала модели **MAN<sup>№</sup> 8** (см. **Фото.3**). длиной порядка 95 см был подсоединен к входу прецизионного анализатора **HP 3581A "Wave Analyzer"**( см. **Фото.4**). Модель **MAN<sup>№</sup> 8** была находилась

в помещении размещения контролирующего оборудования режимом работы УМ и тестируемой удвоенной модели ПЛМА и комплекта устройств контроля выходного сигнала с MAN<sup>№</sup> 8 , изображенного на **Фото.4** в момент осуществления полевых измерений радиационного уровня на пересечённой местности, излучаемого в режиме **CW** удвоенной моделью ПЛМА. **HP 3581A "Wave Analyzer"**(см. **Фото.4**) — в процессе данного стендового теста удвоенной модели ПЛМА используется как прецизионный

селективный вольтметр с возможностью отсчёта зарегистрированного уровня сигнала с MAN<sup>№</sup> 8 не посредственно с помощью его электродинамического стрелочного прибора, как по шкале «линейного отсчёта», так и по шкале «логарифмического отсчёта» при установке полосы пропускания

**RBW = 3 Гц.** Значение частоты исследуемого сигнала возможно отсчитать по много разрядному цифровому индикатору. **HP 3581A «Wave Analyzer»**- обладает

в широком спектре его устанавливаемых предварительно с помощью двух много позиционных переключателей на его передней панели . Этот тракт аналогового усиления обладает , сохраняя

не изменой его спектральную «сигнал — шум» форму при выбранном заранее значении RBW с помощью размещённого на его передней панели много позиционного переключателя. Выходной сигнал этого тракта усиления может быть снят, подсоединением размещённого на его задней панели типа BNC разъема с помощью подсоединённого к нему коаксиального кабеля идущему к устройствам дальнейшего спектрального анализа, как это видно из содержания изображения **Фото.4**.

Итак, как отмечено в тексте, размещённом в нижней части изображения **ВХ Изо.6** :

а) был зарегистрировано с помощью **HP 3581A «Wave Analyzer»** при **RBW = 3 Гц** выходного сигнала **MAN<sup>№</sup> 8** на дистанции от излучаемой ЭМВ на частоте модели **ПЛМА** равный , при этом о виде его спектра можно судить по изображению спектральной плотности на **Изо.6. б)** с помощью портативного спектрометрического цифрового измерителя магнитной или электрической составляющей напряжённости электромагнитного поля типа **АКИП 4210/3 (см. Фото.,** установленный на штативе). С его помощью было зарегистрировано эффективное значение индукции магнитного поля в лаборатории при дистанции 35 м , что позволяет оценить

так называемую «Эффективную или действующую высоту»  $H_{eff}$  приёмной антенны MAN<sup>№</sup> 8 в месте её расположения. Итак, 
$$E_{rest} = (B_{test} \cdot \mu_0) / \mu_0$$
 где



**Фото.3**



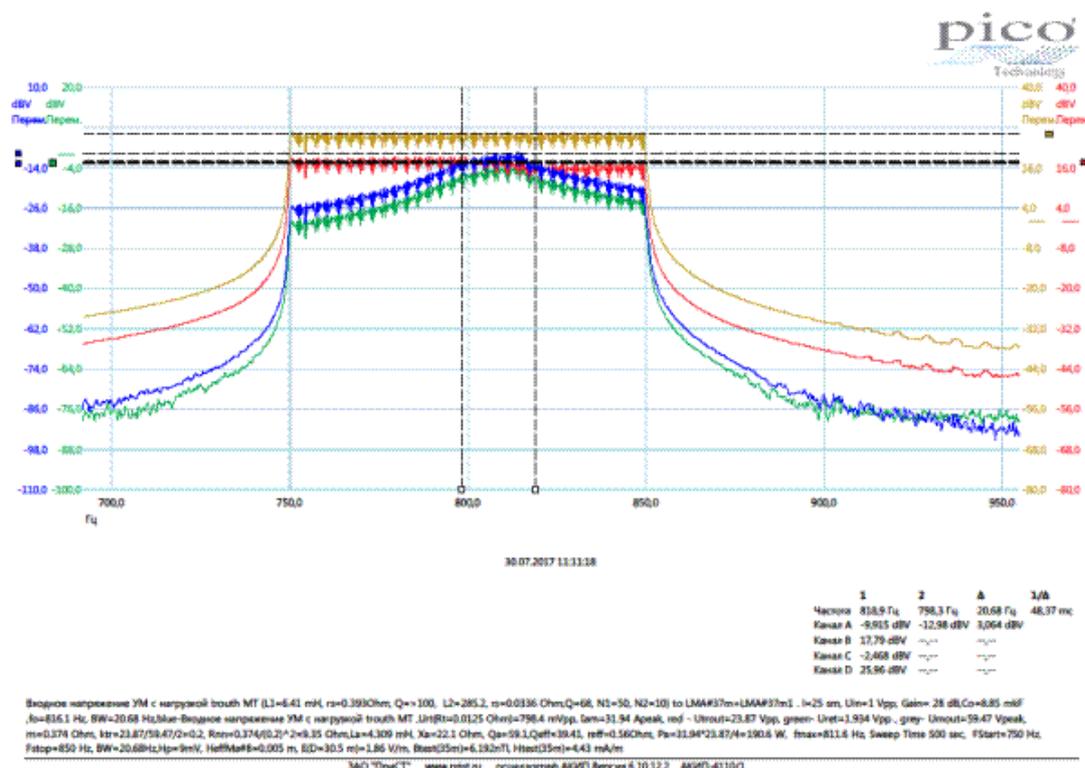
**Фото.4.**

**3.2.** Автор прежде, чем начать проектировать модель MAN<sup>№ 8</sup>, так же как модели ЛMAN<sup>№ 37</sup> перед тем как их изготавливать, теоретически рассчитывал возможное значение «Действующей или Эффективной Высоты» по предполагаем её геометрических и пр. параметрам, а также осуществлял все необходимые математические расчёты для их виртуальных моделей, даже с учётом размещения как модели приёмной антенны MAN<sup>№ 8</sup> так и виртуальной модели исходя из предположения, что амплитудным значением

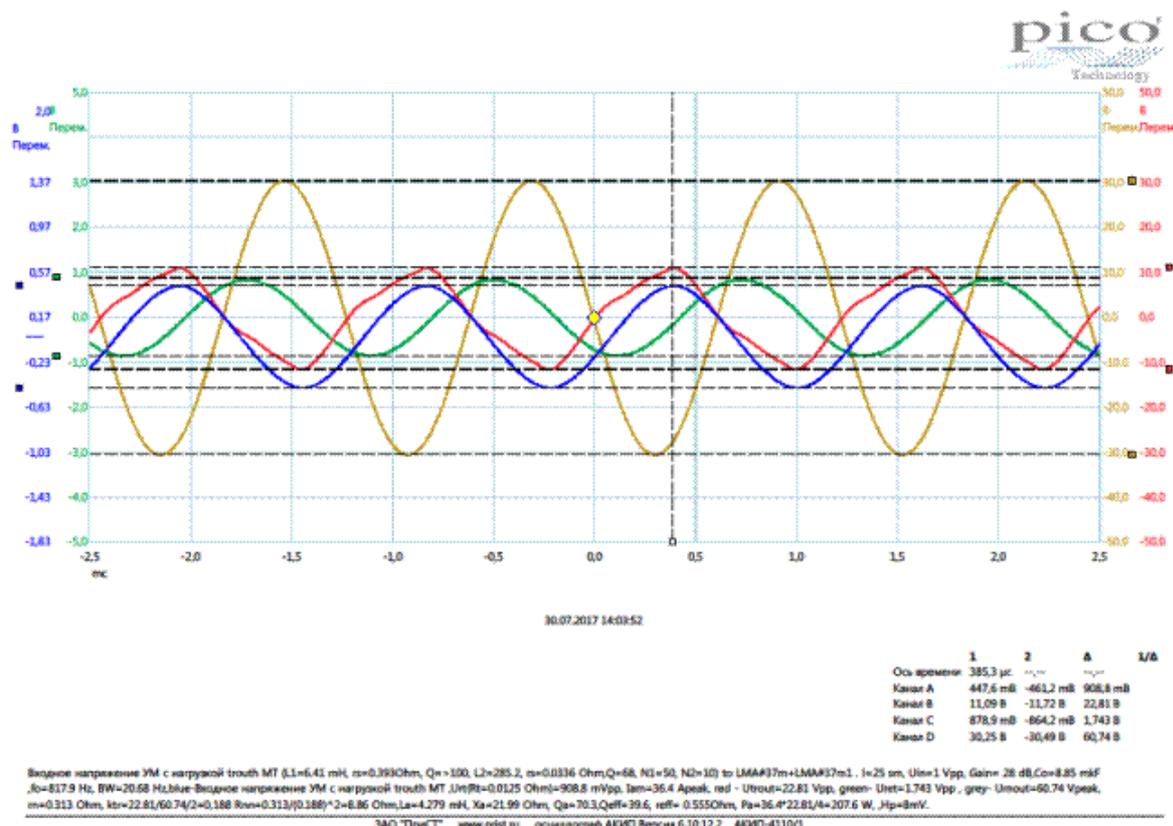
втор произвёл все необходимые теоретические расчёты на ПК с помощью лицензируемой компьютерной программы [13], приобретенной им еще в конце 90-стых годов. Копия ( выполнена в pdf формате файла) результата такого расчёта для иллюстрации включена в виде рабочего **материала в Приложении 1.**

**3.2.1** Существует формула для расчёта «Действующей Высоты» Приёмных Рамочных Антенн, в модернизированном виде которую с целью расчёта **№ 8** можно представить в виде:





Изо.8



Изо.9.

3.2.2. Данные, представленные на **Изо.7**, **Изо.8**, получены при значении положения много позиционного переключателя **УМ КУ** , В этом случае в момент резонанса, когда протекаемый ток «возбуждения» по обмоткам соленоидов **моделей ЛМАН<sup>№</sup> 37 и ЛМАН<sup>№</sup> 37м** обладает амплитудным значением и подводимая мощность а на **Изо.9** — и подводимая к испытываемой модели ПЛМА мощность . Как и ранее в силу нелинейности материала её магнитопроводов путём плавного изменения фазы

частоты ручкой её изменения на передней панели **ФГ** осуществлялось совмещение пика кривой «синего» цвета, представленной на **Изо.9** (

с пиком кривой «красного» цвета ( ). При этом частота несущей . С помощью изображения АЧХ стало возможным определить на уровне  $-3$  дБ значение полосы пропускания антенного контура тока «возбуждения» и прочие важные параметры, указанные в тексте в нижней части **Изо.9**.

4. Интересно ответить, что в соответствии с расчётами **Приложения 1** в уровень выходного сигнала виртуальной приёмной антенны **MAN<sup>8</sup>** для дистанции при составляет величину **26 мВ**, тогда как в лабораторных условиях (см. текст в нижней части при составило амплитудного значения. При этом на дистанции **35 м** амплитудное значение выходного сигнала виртуальной модели **MAN<sup>8</sup>** составляет величину Это объясняется увеличенным значения её «Действующей высоты»

в

до значения

**мкВ.**

Необходимо отметить, что вычислениях, приведённых в **Приложении1**, автор воспользовался ни только выше приведённой формуле **(3.2 — 4)** для вычисления длины волны в средах обладающих конечной величиной , принятого у , но вместо принятого ими выражения для расчёта экспоненциального затухания электрической или магнитной составляющей напряжённости электромагнитного поля частоты  $f$  в таких средах:

$$k''[m^{-1}] = \frac{\pi f \mu}{\Omega} \quad (4 — 1) \text{ автор предпочёл использовать выражение:} \quad \text{att}[m] = \sqrt{\frac{10^{-1} \Omega [Ov * v]}{L[\Gamma]}}$$

(4 — 2) для расчёта слоя именно морской среды с параметрами ,

. Данное выражение любезно предоставлено автору по его электронной почте более 2х лет назад

получивший данный результат исследованием при значении её параметров . Данное выражение автор использовал впервые при написании работы [4]. В настоящий момент всмотревшись внимательно в суть содержания выражения с учётом сохранения размерностей внутри его для использования в компьютерной программы [13] **Приложения1** автор пришёл к заключения, что

$$\text{att}[m] = \sqrt{\frac{4 \pi \Omega}{16 f}}$$

фактически имеет вид

---

$10^{-7}$  Гн/м. — это слой , но

Отсюда можно сделать далеко идущий для  
практического применения вывод: , f

## 5. Заключение

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

---

12.

13.

14.

**Приложение 1:**

1.

$$\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ henry (1-1)} \quad d_0 := 0.115 \text{ m} \quad N := 57 \quad l_0 := 0.91 \text{ m} \quad f_1 := 817 \text{ Hz} \quad f_2 := 1000 \text{ Hz}$$

$$L_0 := (\pi \cdot d_0 \cdot N)^2 \cdot 10^{-9} \frac{(10)^4 \cdot \text{henry}}{[(l_0 + 0.45 \cdot d_0) \cdot 10^2] \cdot \text{m}} \quad (1-2) \quad L_0 = 4.409 \cdot 10^{-5} \text{ henry (1-3)}$$

$$\mu_{\text{eff}} := 52 \quad L_{\text{a}} := L_0 \cdot \mu_{\text{eff}} \quad (1-4) \quad L_{\text{a}} = 2.293 \cdot 10^{-3} \text{ henry (1-5)} \quad l_{\text{a}1} := 1.8 \text{ m}$$

$$\sqrt{-1} \quad l_{\text{a}1} := 1.8 \text{ m} \quad D := 35 \text{ m} \quad f_1 := 817 \text{ Hz} \quad \epsilon_0 = 8.854187817 \cdot 10^{-12} \frac{\text{farad}}{\text{m}}$$

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

$$\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{henry}}{\text{m}} \quad \mu_r = 1 \quad \epsilon := 0 \quad \epsilon_r = 1 \quad \epsilon_0 = 8.854187817 \cdot 10^{-12} \frac{\text{farad}}{\text{m}}$$

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

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \quad \omega := \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0}} \quad \omega = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad \epsilon_r := 81$$

$$l_{\text{a}1} := 1.8 \text{ m}$$

$$\omega = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad \lambda_{01} := \frac{\omega}{f_1} \quad \lambda_{01} = 3.669 \cdot 10^5 \text{ m} \quad \omega_0 := 2 \cdot \frac{\pi}{\lambda_{01}}$$

$$\omega_0 = 1.712 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-1} \quad \psi_{01} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\pi}{\lambda_{01}} \quad \psi_{01} = 5.993 \cdot 10^{-4}$$

$$W_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad W_0 = 376.73 \text{ ohm} \quad W_r = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \cdot W_0 \quad W_r = 41.859 \text{ ohm}$$

$$\rho = 0.3 \text{ ohm} \cdot \text{m} \quad \lambda_{g1} := 2 \cdot \sqrt{\pi \cdot \frac{\rho}{\mu_0 \cdot f_1}} \quad \lambda_{g1} = 60.597 \text{ m} \quad h_m := \sqrt{10^7 \cdot \frac{\text{m} \cdot \rho}{\text{henry} \cdot \text{fl}}}$$

$$k_1 := \sqrt{\frac{\pi \cdot f_1 \cdot \mu_0}{\rho}} \quad k_1 = 0.104 \text{ m}^{-1} \quad m_1 := e^{-k_1 \cdot D} \quad h_m = 60.597 \text{ m}$$

$$mH_0 = I_m \cdot \frac{h_m}{(4 \cdot \pi)} \cdot (D^{-2} + i \cdot \lambda^{-1} \cdot D^{-1}) \cdot e^{-i \cdot \epsilon \cdot D} \cdot \cos(\theta)$$

$$mH_0 = I_m \cdot h_m \cdot \frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot W_0} \cdot (-i \cdot D^{-3} + \lambda^{-1} \cdot D^{-2} + \lambda^{-2} \cdot D^{-1}) \cdot e^{-i \cdot \epsilon \cdot D} \cdot \cos(\theta)$$

$$mH_p = I_m \cdot h_m \cdot \frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot W_0} \cdot (-i \cdot D^{-3} + \lambda^{-2} \cdot D^{-1}) \cdot e^{-i \cdot \epsilon \cdot D} \cdot \sin(\theta) \quad I_m := 35.7 \text{ A}$$

$$Q_{a1} := 59.1 \quad BW1 := \frac{f_1}{Q_{a1}} \quad BW1 = 13.824 \text{ Hz} \quad m_1 := 2 \cdot \pi \cdot f_1 \quad m_1 = 5.133 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$$

$$X_{a1} := i \cdot L_{\text{a}} \cdot m_1 \quad X_{a1} = 11.77i \text{ ohm} \quad U_{m1} := I_m \cdot X_{a1} \quad U_{m1} = 420.21 \text{ V}$$

$$\begin{aligned}
\text{Cos} &:= \frac{-1}{\lambda a1 \cdot i} & \text{Cos} &= 1.689 \cdot 10^{-5} \cdot i \text{ rad} & m &:= \frac{|\lambda a1|}{Qa1} & m &= 0.199 \cdot \text{ohm} \\
mH_{\psi} &= \text{Im} \cdot \frac{\text{Im}}{(4 \cdot \pi)} \cdot (D^{-2} + i \cdot \lambda^{-1} \cdot D^{-1}) \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot D} \cdot \cos(\theta) & \text{Pa1} &:= m \cdot \frac{\text{Im}^2}{2} & \text{Pa1} &= 126.913 \cdot \text{W} \\
mH_{\phi} &= \text{Im} \cdot \text{Im} \cdot \frac{\lambda}{8 \cdot \pi \cdot W_0} \cdot (-i \cdot D^{-3} + \lambda^{-1} \cdot D^{-2} + \lambda^{-2} \cdot D^{-1}) \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot D} \cdot \cos(\theta) \\
mH_{\rho} &= \text{Im} \cdot \text{Im} \cdot \frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot W_0} \cdot (-i \cdot D^{-3} + \lambda^{-2} \cdot D^{-1}) \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot D} \cdot \sin(\theta) & \theta &:= 0 & I &:= 1 \\
\text{Ra1} &:= \frac{U_{a1}}{\pi \cdot d_0 \cdot N} & \text{Ra1} &= 29.403 i \cdot \frac{\text{V}}{\text{m}} & d_0 &= 8.115 \cdot \text{m} \\
\left[ \frac{\text{Im}}{4 \cdot \pi} \cdot (d_0^{-2} + i \cdot \lambda a1^{-1} \cdot d_0^{-1}) \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot d_0} \cdot \cos(\theta) \right] & & \text{Im1} &:= 1.8 \cdot \text{m} \\
\text{Ja1} &:= \frac{\text{Ra1}}{\left[ I \cdot \frac{\text{Im1}}{(4 \cdot \pi)} \cdot (d_0^{-2} + i \cdot \lambda a1^{-1} \cdot d_0^{-1}) \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot d_0} \cdot \cos(\theta) \right]} & \text{Ja1} &= -3.119 \cdot 10^{-6} + 1.884 i \cdot \text{V} \\
|\text{Ja1}| &= 1.884 \cdot \text{V} & \text{Im} &= 35.7 \cdot \text{A} & v1 &:= \frac{|\text{Ja1}|}{\text{Im}} & v1 &= 0.053 \cdot \text{ohm} \\
D &= 35 \cdot \text{m} & \theta &= 0 & m_0 &= 1.712 \cdot 10^{-5} \cdot \text{m}^{-1} & \text{Im1} &= 1.8 \cdot \text{m} \\
e^{-i \cdot \omega \cdot D} &= 1 - 5.993 \cdot 10^{-4} i & \cos(\theta) &= 1 \\
mB\phi1 &:= \text{Ja1} \cdot \frac{\text{Im1}}{(4 \cdot \pi)} \cdot (D^{-2} + i \cdot \lambda a1^{-1} \cdot D^{-1}) \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot D} \cdot \cos(\theta) & mB\phi1 &= 1.106 \cdot 10^{-7} + 2.203 \cdot 10^{-4} i \cdot \frac{\text{V}}{\text{m}} \\
|mB\phi1| &= 2.203 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{\text{V}}{\text{m}} & \text{HeffMAN} &:= 2 \cdot \pi \cdot 3200 \cdot \frac{108 \cdot 9.16 \cdot 10^{-4} \cdot \text{m}^2}{\lambda a1} \\
\text{HeffMAN} &= 5.421 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} & \lambda a1 &= 3.669 \cdot 10^5 \cdot \text{m} & \text{UMASout} &:= \text{HeffMAN} \cdot |mB\phi1| \\
\text{UMASout} &= 1.194 \cdot 10^{-6} \cdot \text{V} & \text{Im} &:= \text{Ja1} & D &= 35 \cdot \text{m} \\
mH\theta1 &= \left( \text{Ja1} \cdot \text{Im1} \cdot \frac{\lambda a1}{4 \cdot \pi \cdot W_0} \right) \cdot [-i \cdot D^{-3} + \lambda a1^{-1} \cdot D^{-2} + (\lambda a1)^{-2} \cdot D^{-1}] \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot D} \cdot \cos(\theta) \\
mH\theta1 &= 6.13 \cdot 10^{-3} - 3.079 \cdot 10^{-6} i \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{A} & |mH\theta1| &= 6.13 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{A} \\
U12\text{out}\theta\text{SE} &:= W_0 \cdot \text{HeffMAN} \cdot |mH\theta1| & U12\text{out}\theta\text{SE} &= 0.013 \cdot \text{V}
\end{aligned}$$

$$mH\phi_1 := J_0 l \cdot km_1 \cdot \frac{\lambda_0 l}{4 \cdot \pi \cdot W_0} \cdot (-1 \cdot D^{-3} + \lambda_0 l^{-2} \cdot D^{-1}) \cdot e^{-i \cdot \pi \cdot n} \cdot \sin(\theta)$$

$$mH\phi_1 = 0 \cdot m^{-1} \cdot A \quad U_{EoutMAS} := \sqrt{(U_{MAout})^2 + (U_{I2outBS})^2}$$

$$U_{EoutMAS} = 0.013 \cdot V$$

$$1.2 \quad \nu = 81 \quad \rho = 0.3 \cdot \text{obm} \cdot \text{m} \quad W_0 = 41.859 \cdot \text{obm} \quad \lambda_{g1} = 66.597 \cdot \text{m}$$

$$mB\phi_{1r} := J_0 l \cdot \frac{km_1}{(4 \cdot \pi)} \cdot (D^{-2} + 1 \cdot \lambda_{g1} l^{-1} \cdot D^{-1}) \cdot e^{-i \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot n}{\lambda_{g1}}} \cdot \cos(\theta) \quad D = 35 \cdot \text{m}$$

$$mB\phi_{1r} = 9.227 \cdot 10^{-6} - 2.543 \cdot 10^{-4} i \quad \left| \frac{V}{m} \right| mB\phi_{1r} = 2.544 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{V}{m}$$

$$mHB_{1r} := J_0 l \cdot km_1 \cdot \frac{\lambda_{g1}}{4 \cdot \pi \cdot W_0} \cdot (-1 \cdot D^{-3} + \lambda_{g1} l^{-1} \cdot D^{-2} + \lambda_{g1} l^{-2} \cdot D^{-1}) \cdot e^{-i \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot n}{\lambda_{g1}}} \cdot \cos(\theta)$$

$$mHB_{1r} = -1.194 \cdot 10^{-3} - 3.067 \cdot 10^{-6} i \quad m^{-1} \cdot A \quad |mHB_{1r}| = 1.233 \cdot 10^{-3} \cdot m^{-1} \cdot A$$

$$mH\phi_{1r} := J_0 l \cdot km_1 \cdot \frac{\lambda_{g1}}{4 \cdot \pi \cdot W_0} \cdot (-1 \cdot D^{-3} + \lambda_{g1} l^{-2} \cdot D^{-1}) \cdot e^{-i \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot n}{\lambda_{g1}}} \cdot \sin(\theta) \quad |mH\phi_{1r}| = 0 \cdot m^{-1} \cdot A$$

$$H_{effMA} g := 2 \cdot \pi \cdot 3200 \cdot \frac{108 \cdot 9.16 \cdot 10^{-4} \cdot m^2}{\lambda_{g1}} \quad H_{effMA} g = 32.825 \cdot \text{m}$$

$$U_{I1outMASg} := H_{effMA} g \cdot |mB\phi_{1r}| \quad U_{I1outMASg} = 8.35 \cdot 10^{-3} \cdot V$$

$$U_{I2outMASg} := H_{effMA} g \cdot W_0 \cdot |mHB_{1r}| \quad U_{I2outMASg} = 0.017 \cdot V$$

$$U_{EoutMASg} := \sqrt{(U_{I1outMASg})^2 + (U_{I2outMASg})^2} \quad U_{EoutMASg} = 0.019 \cdot V$$

$$1.3 \quad \rho = 0.3 \cdot \text{obm} \cdot \text{m} \quad \lambda_{g1} = 66.597 \cdot \text{m} \quad D := 300 \cdot \text{m} \quad n_1 := e^{-\frac{D}{hm}}$$

$$\frac{-D}{hm} = -4.951 \quad n_1 = 7.078 \cdot 10^{-3}$$

$$mB\phi_{1g} := J_0 l \cdot \frac{km_1}{(4 \cdot \pi)} \cdot (D^{-2} + 1 \cdot \lambda_{g1} l^{-1} \cdot D^{-1}) \cdot n_1 \cdot e^{-i \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot n}{\lambda_{g1}}} \cdot \cos(\theta)$$

$$mB\phi_{1g} = -1.065 \cdot 10^{-7} - 1.179 \cdot 10^{-8} i \quad \left| \frac{V}{m} \right| mB\phi_{1g} = 1.072 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{V}{m}$$

$$m_{HB1g} := \text{Im} \left( \text{Im} \frac{\lambda_{g1}}{4\pi \cdot W_r} \cdot (-1 \cdot D^3 + \lambda_{g1}^{-1} \cdot D^2 + \lambda_{g1}^{-2} \cdot D^1) \cdot n1 \cdot e^{-\frac{D \cdot 2 \cdot \pi}{\lambda_{g1}}} \cdot \cos(\theta) \right)$$

$$m_{HB1g} = -0.211 \cdot 10^{-10} + 2.905 \cdot 10^{-9} \text{ l} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{A} \quad |m_{HB1g}| = 3.019 \cdot 10^{-9} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{A}$$

$$m_{Hp1g} := \text{Im} \left( \text{Im} \frac{\lambda_{g1}}{4\pi \cdot W_r} \cdot (-1 \cdot D^3 + \lambda_{g1}^{-2} \cdot D^1) \cdot n1 \cdot e^{-\frac{D \cdot 2 \cdot \pi}{\lambda_{g1}}} \cdot \sin(\theta) \right) \quad |m_{Hp1g}| = 0 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{A}$$

$$H_{effMAAg} := 2 \cdot \pi \cdot 6200 \cdot \frac{108 \cdot 9.16 \cdot 10^{-4} \cdot \text{m}^2}{\lambda_{g1}} \quad H_{effMAAg} = 32.425 \cdot \text{m}$$

$$U_{21outMAAg} := H_{effMAAg} \cdot |m_{Bp1g}| \quad U_{21outMAAg} = 3.518 \cdot 10^{-6} \cdot \text{V}$$

$$U_{22outMAAg} := H_{effMAAg} \cdot W_r \cdot |m_{HB1g}| \quad U_{22outMAAg} = 4.148 \cdot 10^{-6} \cdot \text{V}$$

$$U_{EoutMAAg} := \sqrt{(U_{21outMAAg})^2 + (U_{22outMAAg})^2} \quad U_{EoutMAAg} = 5.439 \cdot 10^{-6} \cdot \text{V}$$

For LMA37andLMA37m

$$UMAs_{300m} := 2 \cdot U_{EoutMAAg} \quad UMAs_{300m} = 1.088 \cdot 10^{-5} \cdot \text{V} \quad ES00m := \frac{UMAs_{300m}}{H_{effMAAg}}$$

$$ES00m = 3.314 \cdot 10^{-7} \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

1.3 a

$$\rho = 0.3 \cdot \text{ohm} \cdot \text{m} \quad \lambda_{g1} = 60.597 \cdot \text{m} \quad D := 400 \cdot \text{m} \quad n1 := e^{-\frac{D}{\rho}}$$

$$\frac{-D}{\rho} = -6.601 \quad n1 = 1.359 \cdot 10^{-3}$$

$$m_{Bp1g} := \text{Im} \left( \frac{\text{Im}}{(4\pi)} \cdot (D^2 + 1 \cdot \lambda_{g1}^{-1} \cdot D^1) \cdot n1 \cdot e^{-\frac{D \cdot 2 \cdot \pi}{\lambda_{g1}}} \cdot \cos(\theta) \right)$$

$$m_{Bp1g} = 1.042 \cdot 10^{-8} - 1.042 \cdot 10^{-8} \text{ l} \cdot \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad |m_{Bp1g}| = 1.53 \cdot 10^{-8} \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$m_{HB1g} := \text{Im} \left( \text{Im} \frac{\lambda_{g1}}{4\pi \cdot W_r} \cdot (-1 \cdot D^3 + \lambda_{g1}^{-1} \cdot D^2 + \lambda_{g1}^{-2} \cdot D^1) \cdot n1 \cdot e^{-\frac{D \cdot 2 \cdot \pi}{\lambda_{g1}}} \cdot \cos(\theta) \right)$$

$$m_{HB1g} = -2.535 \cdot 10^{-10} - 3.902 \cdot 10^{-10} \text{ l} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{A} \quad |m_{HB1g}| = 4.163 \cdot 10^{-10} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{A}$$

$$mH\phi1g := Jn1 \cdot km1 \cdot \frac{\lambda g1}{4 \cdot \pi \cdot Wr} \cdot (-i \cdot D^3 + \lambda g1^{-2} \cdot D^1) \cdot n1 \cdot e^{-i \cdot \frac{D2 \cdot \pi}{\lambda g1}} \cdot \sin(\theta) \quad |mH\phi1r| = 0 \cdot m^{-1} \cdot A$$

$$mB\phi1g := Jn1 \cdot \frac{km1}{(4 \cdot \pi)} \cdot (D^2 + i \cdot \lambda g1^{-1} \cdot D^1) \cdot n1 \cdot e^{-i \cdot \frac{D2 \cdot \pi}{\lambda g1}} \cdot \cos(\theta)$$

$$HoffMAAg := 2 \cdot \pi \cdot 3200 \cdot \frac{108 \cdot 9.16 \cdot 10^{-4} \cdot m^2}{\lambda g1} \quad HoffMAAg = 32.825 \cdot m$$

$$mB\phi1g = 1.042 \cdot 10^{-8} - 1.042 \cdot 10^{-8} i \quad \frac{V}{m} \quad |mB\phi1g| = 1.53 \cdot 10^{-8} \quad \frac{V}{m}$$

$$U21outMAAg := HoffMAAg \cdot |mB\phi1g| \quad U21outMAAg = 3.518 \cdot 10^{-6} \quad eV$$

$$U22outMAAg := HoffMAAg \cdot Wr \cdot |mB\phi1g| \quad U22outMAAg = 5.72 \cdot 10^{-7} \quad eV$$

$$mB\phi1g := Jn1 \cdot km1 \cdot \frac{\lambda g1}{4 \cdot \pi \cdot Wr} \cdot (-i \cdot D^3 + \lambda g1^{-1} \cdot D^2 + \lambda g1^{-2} \cdot D^1) \cdot n1 \cdot e^{-i \cdot \frac{D2 \cdot \pi}{\lambda g1}} \cdot \cos(\theta)$$

$$U2outMAAg := \sqrt{(U21outMAAg)^2 + (U22outMAAg)^2} \quad U2outMAAg = 7.612 \cdot 10^{-7} \quad eV$$

$$mB\phi1g = -2.535 \cdot 10^{-10} - 3.302 \cdot 10^{-10} i \quad m^{-1} \cdot A \quad |mB\phi1g| = 4.163 \cdot 10^{-10} \quad m^{-1} \cdot A$$

$$mH\phi1g := Jn1 \cdot km1 \cdot \frac{\lambda g1}{4 \cdot \pi \cdot Wr} \cdot (-i \cdot D^3 + \lambda g1^{-2} \cdot D^1) \cdot n1 \cdot e^{-i \cdot \frac{D2 \cdot \pi}{\lambda g1}} \cdot \sin(\theta) \quad |mH\phi1r| = 0 \cdot m^{-1} \cdot A$$

$$HoffMAAg := 2 \cdot \pi \cdot 3200 \cdot \frac{108 \cdot 9.16 \cdot 10^{-4} \cdot m^2}{\lambda g1} \quad HoffMAAg = 32.825 \cdot m$$

$$U21outMAAg := HoffMAAg \cdot |mB\phi1g| \quad U21outMAAg = 5.023 \cdot 10^{-7} \quad eV$$

$$U22outMAAg := HoffMAAg \cdot Wr \cdot |mB\phi1g| \quad U22outMAAg = 5.72 \cdot 10^{-7} \quad eV$$

$$U2outMAAg := \sqrt{(U21outMAAg)^2 + (U22outMAAg)^2} \quad U2outMAAg = 7.612 \cdot 10^{-7} \quad eV$$

$$\text{For } LMA37 \text{ and } LMA37m \quad LMAA\_400m := 2 \cdot U2outMAAg$$

$$LMAA\_400m = 1.522 \cdot 10^{-6} \quad eV$$

$$E400m := \frac{UMAS\_400m}{HeffMAAg} \quad E400m = 4.638 \cdot 10^{-8} \frac{V}{m}$$

$$1.26 \quad \rho = 0.3 \text{ ohm}\cdot\text{m} \quad \lambda g1 = 62.397 \cdot \text{m} \quad D := 500 \cdot \text{m} \quad n1 := \frac{-D}{\lambda g1}$$

$$\frac{-D}{\lambda g1} = -1.251 \quad n1 = 2.609 \cdot 10^{-4}$$

$$mB\phi1g := \text{Im}1 \cdot \frac{\text{Im}1}{(4 \cdot \pi)} \cdot (D^2 + i \cdot \lambda g1^{-1} \cdot D^1) \cdot n1 \cdot e^{-i \frac{Dg \pi}{\lambda g1}} \cdot \cos(\theta)$$

$$mB\phi1g = 3.001 \cdot 10^{-10} + 2.322 \cdot 10^{-9} i \quad \frac{V}{m} \quad |mB\phi1g| = 2.341 \cdot 10^{-9} \frac{V}{m}$$

$$mB\theta1g := \text{Im}1 \cdot \text{Im}1 \cdot \frac{\lambda g1}{4 \cdot \pi \cdot Wt} \cdot (-i D^3 + \lambda g1^{-1} D^2 + \lambda g1^{-2} D^1) \cdot n1 \cdot e^{-i \frac{Dg \pi}{\lambda g1}} \cdot \cos(\theta)$$

$$mB\theta1g = 6.224 \cdot 10^{-11} - 1.309 \cdot 10^{-12} i \quad \text{m}^{-1} \cdot A \quad |mB\theta1g| = 6.225 \cdot 10^{-11} \text{m}^{-1} \cdot A$$

$$mB\psi1g := \text{Im}1 \cdot \text{Im}1 \cdot \frac{\lambda g1}{4 \cdot \pi \cdot Wt} \cdot (-i D^3 + \lambda g1^{-2} D^1) \cdot n1 \cdot e^{-i \frac{Dg \pi}{\lambda g1}} \cdot \sin(\theta) \quad |mB\psi1g| = 0 \cdot \text{m}^{-1} \cdot A$$

$$HeffMAAg := 2 \cdot \pi \cdot 3200 \cdot \frac{100 \cdot 9.16 \cdot 10^{-4} \cdot \text{m}^2}{\lambda g1} \quad HeffMAAg = 32.825 \cdot \text{m}$$

$$UZ1outMAAg := HeffMAAg \cdot |mB\phi1g| \quad UZ1outMAAg = 7.684 \cdot 10^{-8} \cdot V$$

$$UZ2outMAAg := HeffMAAg \cdot Wt \cdot |mB\theta1g| \quad UZ2outMAAg = 8.554 \cdot 10^{-8} \cdot V$$

$$UZoutMAAg := \sqrt{(UZ1outMAAg)^2 + (UZ2outMAAg)^2} \quad UZoutMAAg = 1.15 \cdot 10^{-7} \cdot V$$

For LMA37andLMA37m

$$UMAS\_900m := 2 \cdot UZoutMAAg \quad UMAS\_900m = 2.3 \cdot 10^{-7} \cdot V \quad E900m := \frac{UMAS\_900m}{HeffMAAg}$$

$$E900m = 7.006 \cdot 10^{-9} \frac{V}{m}$$