Сферические электромагнитные волны линейных электрических антенн в СДВ диапазоне

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

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

($E_\rho(t,\rho)$ и $E_\theta(t,\rho)$) составляющих напряжённостей электромагнитного поля для Линейных Электрических Антенн (ЛЭА), относящихся к излучателям типа Электрического Диполя Герца (ЭГД) выведенные автором монографии [1] в право ориентированной сферической системе ортогональных координат являются моно гармоническими функциями круговой частоты ω, пространственных координат (ρ, θ, φ) и времени t вида:

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

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

$$E_\theta(t,\rho) = E_{\theta m} e^{i\omega t} \quad (1-3),$$

где амплитудные их значения описываются выражениями:

$$H_{\varphi m} = \frac{I_{am} l_\varepsilon}{4\pi}\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2\left[\left(\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right)^2 + i\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right]e^{-i\alpha\rho}\cos\theta \quad (1-4)$$

$$E_{\rho m} = \frac{I_{am} l_\varepsilon}{2\pi\varepsilon\omega}\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^3\left[-i\left(\frac{\lambda}{2\pi\rho)}\right)^3 + \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right)^2\right]e^{-i\alpha\rho}\sin\theta \quad (1-5)$$

$$E_{\theta m} = -\frac{I_{am} l_\varepsilon}{4\pi\varepsilon\omega}\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^3\left[-i\left(\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right)^3 + \left(\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right)^2 + i\frac{\lambda}{2\pi\rho}\right]e^{-i\alpha\rho}\cos\theta \quad (1-6)$$

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

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

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

$\vec{D}$ - вектор индукции электрической составляющей электромагнитного поля с единицей измерения, [ ].

$\vec{B}$ - вектор индукции магнитной составляющей электромагнитного поля с единицей измерения, [ ], или [ ], или [ ].

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

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

- коэффициент диэлектрической проницаемости в вакууме, [ ],

или [ ], где:

(1.9)

- относительная величина диэлектрической проницаемости среды,

- коэффициент магнитной проницаемости в вакууме, [ ],

или [ ], где:

(1.10)

- относительная величина магнитной проницаемости среды,

- коэффициент проводимости электрического тока единичного объёма среды, [ ],

- коэффициент проводимости « магнитного тока» единичного объёма среды, [ ].

(1.10)

f - частота несущей, излучаемая ЛМА в Гц.

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

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

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

$$W_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \quad (1-17) \qquad W = W_0\sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}} \quad (1-18) \qquad \lambda = \frac{c}{f} \quad (1-19) \qquad c = c_0\sqrt{\frac{1}{\varepsilon_r \mu_r}} \quad (1-20)$$

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

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

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

и при условиях:

$l_e << \frac{\lambda}{2\pi}$ (1 – 21) $d << l_e$ (1 – 22) является элементарным Электрическим Диполем Герца (ЭГД).

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

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

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

Уравнения (1 – 4, 5, 6) можно привести к виду:

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

$$E_{\rho m} = \frac{I_{am} l_e \lambda W}{4\pi^2\rho^3}[-i + \alpha\rho + i(\alpha\rho)^2]e^{-i\alpha\rho}\sin\theta \quad \mathbf{(1-27)}$$

$$E_{\theta m} = -\frac{I_{am} l_e \lambda W}{8\pi^2\rho^3}[-i + \alpha\rho + i(\alpha\rho)^2 e^{-i\alpha\rho}\cos\theta \quad \mathbf{(1-28)}$$

В «Дальней зоне» когда $\rho \geq \frac{1}{\alpha} = \frac{\lambda}{2\pi}$ (1 – 29) остаются лишь две компоненты напряжённостей электромагнитного потока, изучаемого ЭГД в окружающее пространство:

$$H_{\varphi m} = i\frac{I_{am} l_e}{2\pi\lambda\rho}\cos\theta \quad \mathbf{(1-30)}$$

$$E_{\theta m} = -i\frac{I_{am} l_e W}{2\pi\lambda\rho}\cos\theta \quad \mathbf{(1-31)}$$

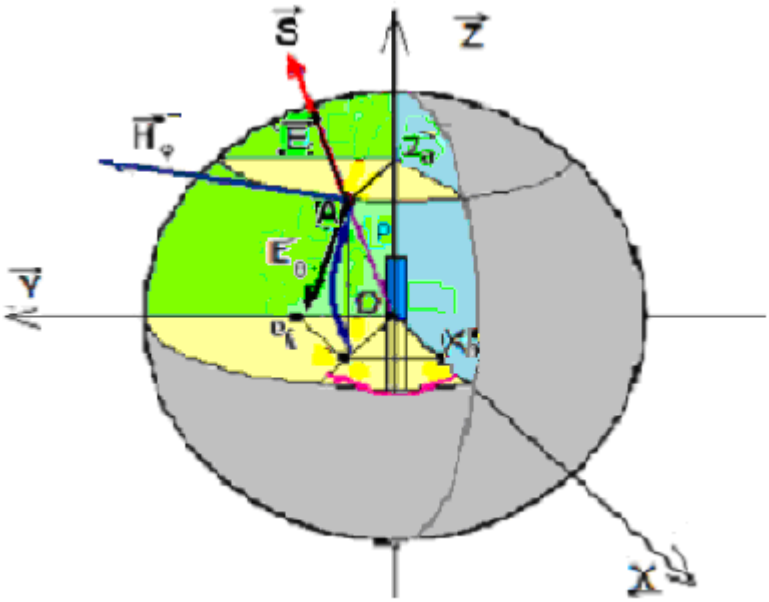
Амплитудное значение вектора Умова-Пойнтинга, который с физической точки зрения являющейся плотностью секундного «расхода» электромагнитной энергии:

(1 – 33)

в право ориентированной системе ортогональных векторов (E, H, S) «Волновое сопротивление» $W = \frac{E_{\theta m}}{H_{\varphi m}}$, исходя из значений выражений (1 – 31) и (1 – 32) является отрицательной величиной.

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

Поэтому анализ Сферических волн, излучаемых ЭГД , требуется проводить [2] в «естественной» для ЭГД левосторонней сферической системе ортогональных координат, как это проиллюстрировано на Изо. 1.



Изо.1.

В этом случае вектор $\vec{E}_\theta$ приобретёт обратное направление, а «Волновое сопротивление» W становится положительным числом, чему было уделено особое внимание автором в тексте [2].

2. В вертикальном положении ЛЭА может быть представлена как «одинокий вертикальный штырь» («Вертикальная Штыревая Антенна") длиной l_e , выполненный из материала, обладающего хорошей проводимостью для переменного электрического тока, и имеющий по всей длине одинаковый диаметр d, когда выполняется условие $\lambda >> l_e > d$ (2 – 1).

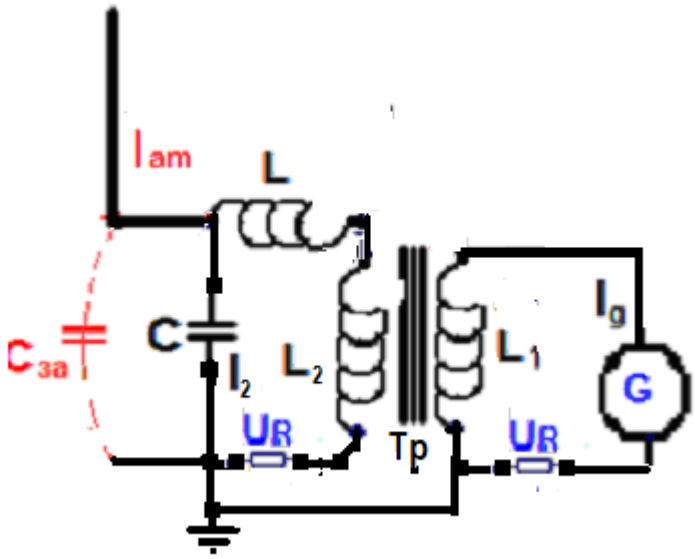
Естественно, что такая «Вертикальная Штыревая Антенна будет обладать в свободном пространстве "собственной ёмкостью" $C_{эа}$ относительно «Земли».

Штыревая Антенна излучает электромагнитные волны за счёт существования так называемых «Токов Смещения», исходящих с боковой её поверхности к «Земле» (или «заземлению»).

Как известно, эквивалентной электрической схемой Штыревой электрической антенны СДВ частотного диапазона является виртуальный конденсатор $C_{эа}$ (собственной ёмкости Антенны).

Автор для измерения этой виртуальной "собственной ёмкости" $C_{эа}$ передающей вертикальной (штыревой или цилиндрической) антенны предпочитает использовать схему, обеспечивающую прохождения в теле антенны переменного тока с амплитудным значением I_{am} частоты f от источника переменного напряжения, представленную на **Изо. 2.**

Это схема «последовательного резонанса» (см. **Изо.2.**) с обязательным включением во её вторичном контуре конденсатора **C** и индуктивности **L** с известными значениями их величин. Провод от модели ЛЭА подсоединятся в точке соединения **C** и **L**. Для контроля величины протекаемого тока $\mathbf{I_{2m}}$ между концом L и "заземлённого" конца обмотки согласующего трансформатора $\mathbf{T_p}$ включёно сопротивление (в данном случае = 4.3 Ом, 1%). Первичная обмотка $\mathbf{T_p}$ одним концом соединена с клеммой выхода Генератора «напряжения» частоты f . Второй её конец соединён совместно со второй клеммой Генератора (при необходимости измерения амплитуды тока $\mathbf{I_{Gm}}$ в разрыв включается калиброванное сопротивление **Rt1**) и с шиной "заземления.



Изо. 2 Эквивалентная схема реального макета в момент теста представлена на Фото.2.

Данная схема обеспечения питания током антенну , измерением собственной резонансной частоты во вторичном контуре питания током ЛМА, позволяет определить эффективное значение индуктивности вторичного контура при отсоединённом проводе питания ЛМА для данной частоты. А в случае подсоединения по значению величины резонансной частоты вычислить величину эффективной ёмкости , зная величину . Собственная антенная ёмкость $_a$ и конденсатор С контура питания антенны образуют с индуктивностью

$$f_{02} = 1/2\pi\sqrt{C_{эфф} L_{эфф}} \qquad (2 - 2)$$

Напряжение от генератора моно гармоничного напряжения частоты вызывает в первичной обмотке согласующего трансформатора ток . При включении калиброванного сопротивления создаёт на нем напряжение , регистрация которого позволяет с необходимой точностью получить информацию, как о спектре сигнала генератора, так форму и амплитудное значение тока . Во вторичной обмотке наводится напряжение $U_{вх2}$ частоты , которое вызывает ток во вторичном контуре и при подсоединении провода ЛМА к нему вызывает ток в её теле со значением амплитуды .

Напряжение , на калиброванном сопротивлении дает возможность ни только определять амплитудное значение тока

По максимуму значения напряжения или при изменении значения частоты **f** выходного сигнала генератора **G** можно определить значение собственной частоты

$$(\vec{E}_\theta, E_\rho, \vec{H}_\varphi)$$

В справочнике [3] для определения собственной ёмкости одиночной вертикальной Штыревой антенны имеет место следующая формула:

$C_i[pF] = \frac{0.24 l_в[см]}{Log(\frac{l_в}{d})}$ **(3 - 1)**, где соотношение между и определяется выражениями

$l_в << \frac{\lambda}{2\pi}$ **(3 – 2)** $d << l_в$ **(3 – 3)**.

Но при сохранении этих требований можно методом суперпозиции использовать эту формулу для определения собственной ёмкости , тело которой представляет из себя вытянутый , боковая поверхность которого образована , при этом

$C_{за}[pF] = M \frac{0.24 l_в[см]}{Log(\frac{l_в[см]}{d[см]})}$ (3 - 5), где $M = \xi \frac{\pi D[см]}{d[см]}$ (3 - 6), где ξ < 1 - поправочный коэффициент, зависящий от того, каким образом торцовая часть боковой поверхности соединена с схемой её питания переменным напряжением частоты f.

3.1 Пример №1. Определение

Дана модель ЦА№1 - антенна цилиндрической формы, находящееся в вертикальном положении, диаметра , боковая поверхность которой выполнена из латунной фольги толщиной **d = 0.17 мм**.

Собственная емкость которой определяем по формуле (3 -5) с учётом формулы (3 - 1).

= 2.73 = 1182.8. При значении = 1 можно было бы достичь значения = 3328.8 (3 - 7), но при соединении в одной точке в торце боковой поверхности цилиндра провода, как это можно видеть на **Фото.2**, удалось достичь экспериментально лишь значение получено экспериментально значение только 56.7 pF.

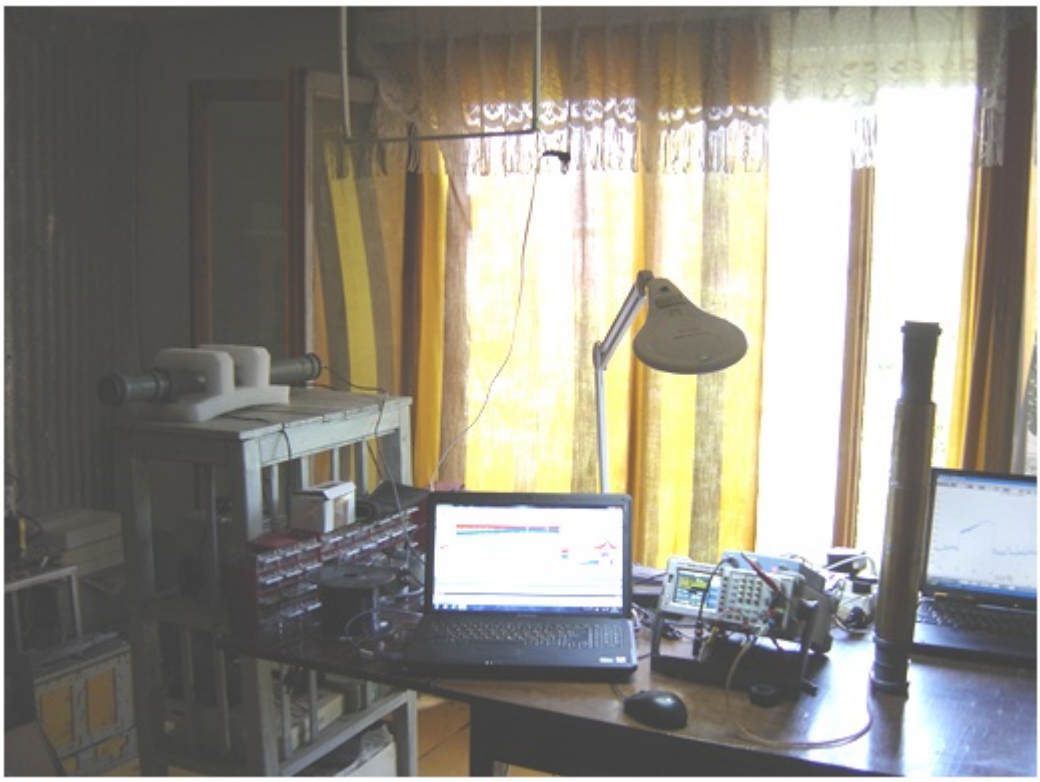


Фото.1. Слева модель МАN№7, выше модель ЛАN№1 и справа модель ЦАN№1

С целью экспериментального определения собственной емкости упомянутой выше модели Цилиндрической антенны ЦФ№1, вид которой изображён на **Фото.1** и **Фото.2** в лаборатории, было организовано "рабочее место" представленное на **Фото.1**.

Провод от макета цилиндрической антенны в соответствии с эквивалентной схемой **Изо. 2**. подсоединялся последовательно к месту соединения калиброванного высоковольтного конденсатора (на Фото 2 он - синего цвета) **C = 2186 pF** (1%, 1600 В) с одним из концов вторичной обмотки согласующего трансформатора Тр (на Фото.2 он зелёно - красного цвета).

Параметры согласующего трансформатора Тр: число витков первичной обмотки N1 =30. Число витков вторичной обмотки N2 =26. На частоте 1 КГц измерения с помощью цифрового L-C-R прецизионного моста (дали: L2 = 6.106 mH , r1 = 0.786 Ohm, Q = 48,8. L1 =8.627 mH, r2 = 1.012 Ohm, Q = 53.6. (см. **Фото.3**.)

Фото. 2.

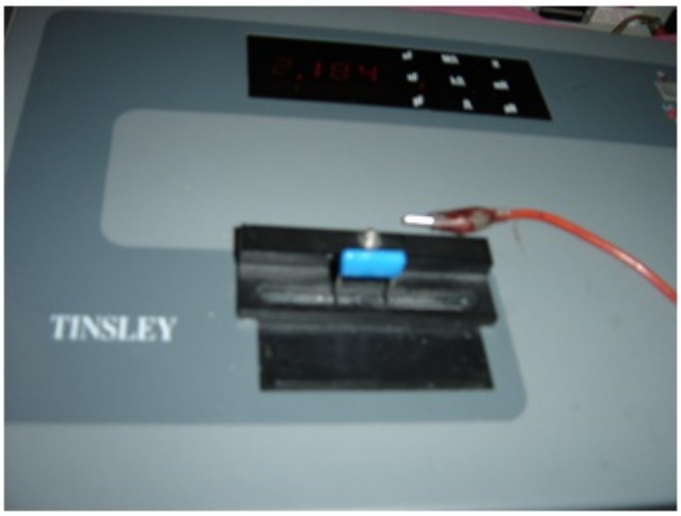


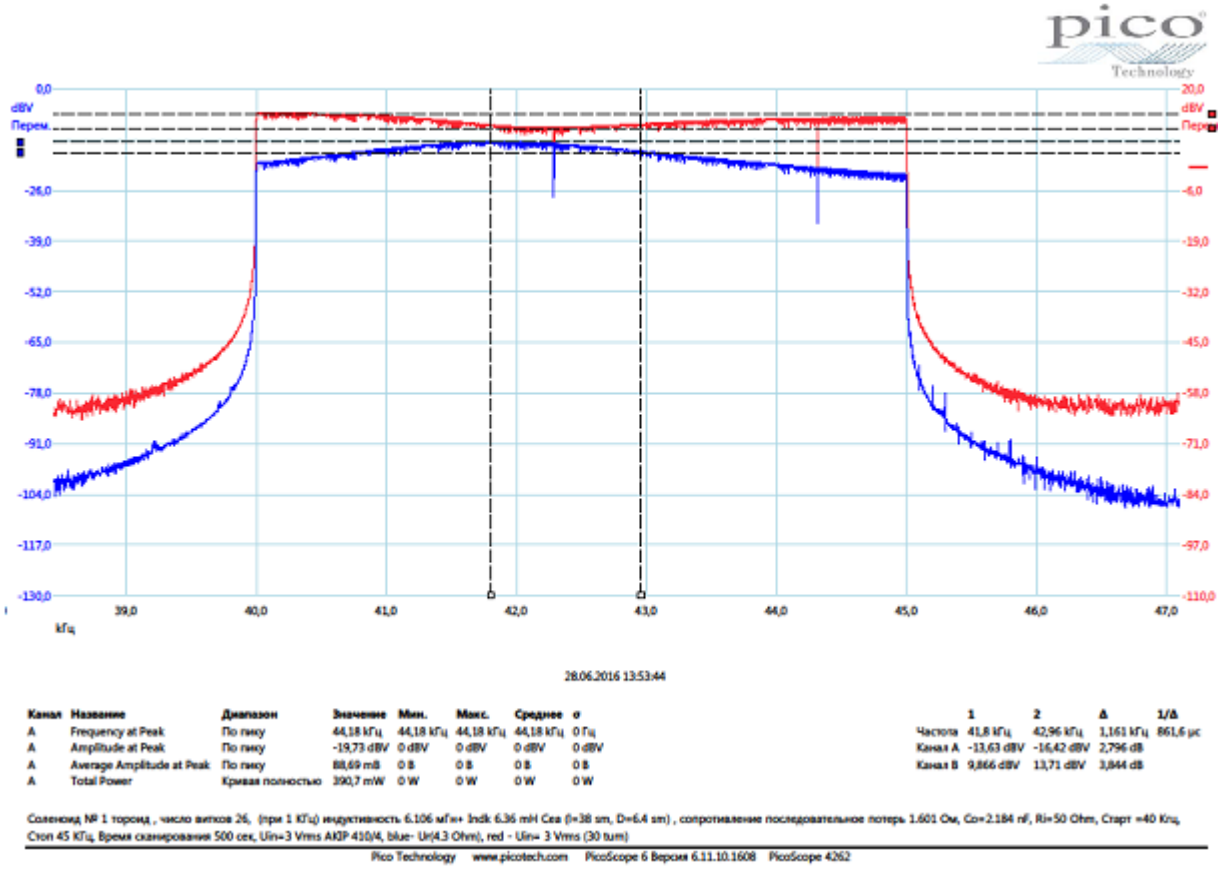
Фото.3. В момент измерения величины конденсатора С.

В качестве индуктивности L использована обмотка тороида (на **Фото.2** - представлен чёрным цветом). На частоте 1 КГц измерения с помощью цифрового L-C-R прецизионного измерителя: L = 6.38 mH **(3 - 8)** , r = 1.608 Ohm, Q = 34.95., при этом N = 194 витка содержит его обмотка. На частоте 1 КГц **C = 2.184 nF (3 - 9)**.

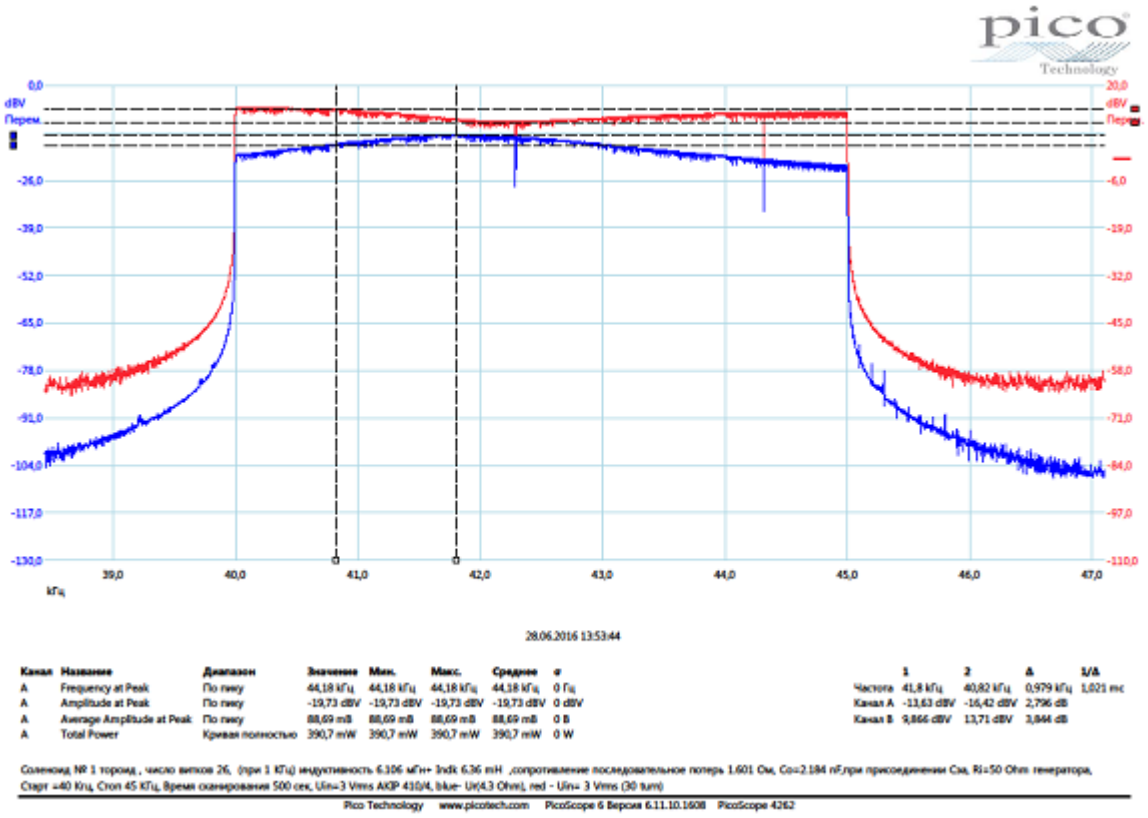
3.2. Определение основных характеристик модели Цилиндрической Антенны (ЦАN°1) представленной на Фото. 2.

Сначала определяются параметры испытываемой схемы обнаружением частоты резонанса

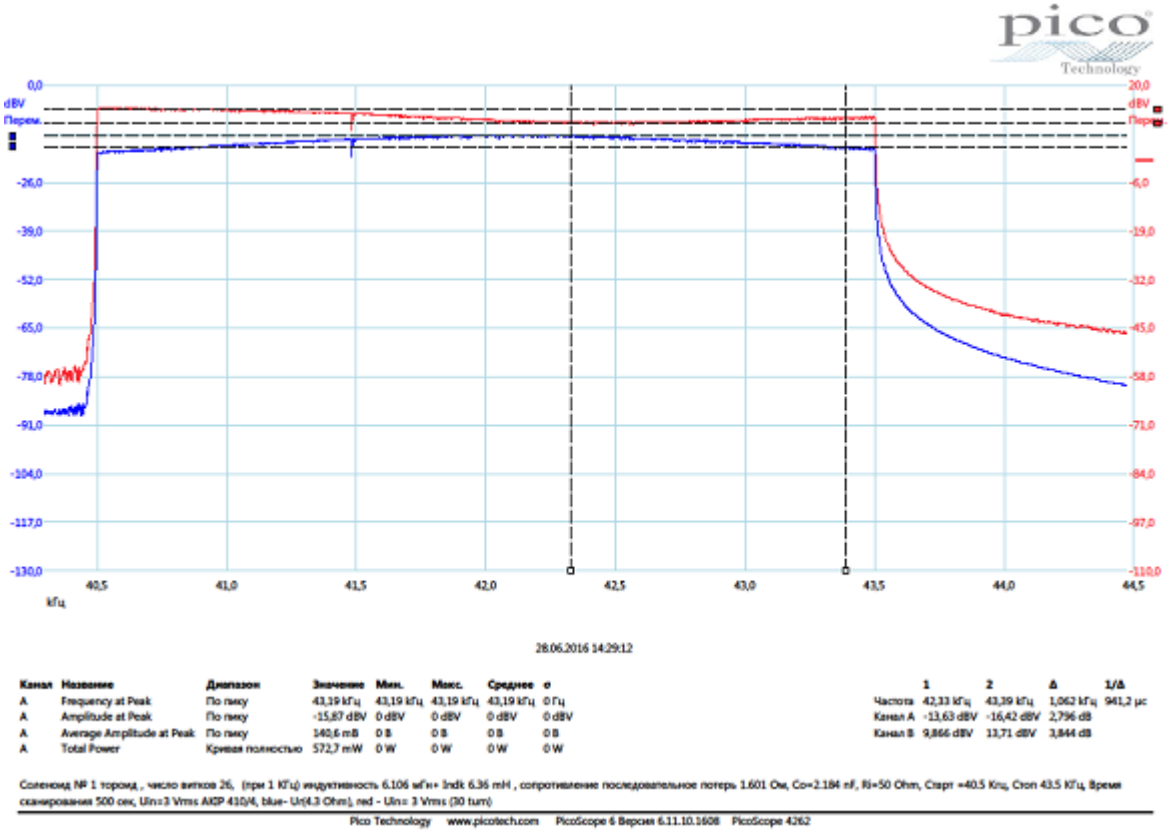
fo1 во вторичном контуре по максимуму показаний напряжения , на калиброванном сопротивлении



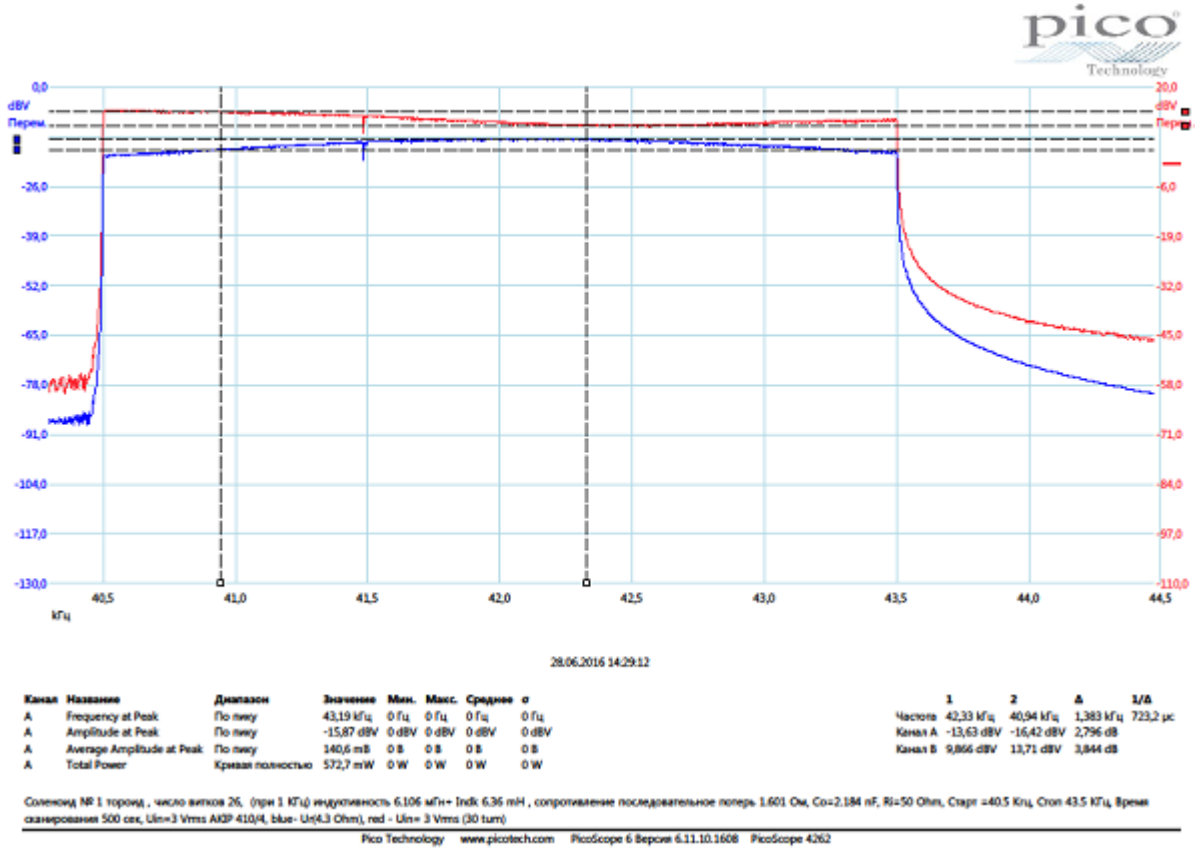
Изо. 4.



Изо.5.


pico
Technology
0,0
dBV
Перем.
-26,0
-39,0
-52,0
-65,0
-78,0
-91,0
-104,0
-117,0
-130,0
20,0
dBV
Перем.
-6,0
-19,0
-32,0
-45,0
-58,0
-71,0
-84,0
-97,0
-110,0
40,5
41,0
41,5
42,0
42,5
43,0
43,5
44,0
44,5
кГц
28.06.2016 14:29:12
Канал Название Диапазон Значение Мин. Макс. Среднее σ
A Frequency at Peak По пику 43,19 кГц 43,19 кГц 43,19 кГц 43,19 кГц 0 Гц
A Amplitude at Peak По пику -15,87 dBV 0 dBV 0 dBV 0 dBV 0 dBV
A Average Amplitude at Peak По пику 140,6 mВ 0 В 0 В 0 В 0 В
A Total Power Кривая полностью 572,7 mW 0 W 0 W 0 W 0 W
1 2 Δ 1/Δ
Частота 42,33 кГц 43,39 кГц 1,062 кГц 941,2 µс
Канал A -13,63 dBV -16,42 dBV 2,796 dB
Канал B 9,866 dBV 13,71 dBV 3,844 dB
Соленоид NR 1 тороид , число витков 26, (при 1 КГц) индуктивность 6.106 мГн+ Indk 6.36 mH , сопротивление последовательное потерь 1.601 Ом, Co=2.184 nF, Ri=50 Ohm, Старт =40.5 Кгц, Cton 43.5 КГц, Время сканирования 500 сек, Uin=3 Vrms AKIP 410/4, blue- Un(4.3 Ohm), red - Uin= 3 Vrms (30 turn)
Pico Technology www.picotech.com PicoScope 6 Версия 6.11.10.1608 PicoScope 4262

Изо. 6.


pico
Technology
0,0
dBV
Перем.
-26,0
-39,0
-52,0
-65,0
-78,0
-91,0
-104,0
-117,0
-130,0
20,0
dBV
Перем.
-6,0
-19,0
-32,0
-45,0
-58,0
-71,0
-84,0
-97,0
-110,0
40,5
41,0
41,5
42,0
42,5
43,0
43,5
44,0
44,5
кГц
28.06.2016 14:29:12
Канал Название Диапазон Значение Мин. Макс. Среднее σ
A Frequency at Peak По пику 43,19 кГц 0 Гц 0 Гц 0 Гц 0 Гц
A Amplitude at Peak По пику -15,87 dBV 0 dBV 0 dBV 0 dBV 0 dBV
A Average Amplitude at Peak По пику 140,6 mВ 0 В 0 В 0 В 0 В
A Total Power Кривая полностью 572,7 mW 0 W 0 W 0 W 0 W
1 2 Δ 1/Δ
Частота 42,33 кГц 40,94 кГц 1,383 кГц 723,2 µс
Канал A -13,63 dBV -16,42 dBV 2,796 dB
Канал B 9,866 dBV 13,71 dBV 3,844 dB
Соленоид NR 1 тороид , число витков 26, (при 1 КГц) индуктивность 6.106 мГн+ Indk 6.36 mH , сопротивление последовательное потерь 1.601 Ом, Co=2.184 nF, Ri=50 Ohm, Старт =40.5 Кгц, Cton 43.5 КГц, Время сканирования 500 сек, Uin=3 Vrms AKIP 410/4, blue- Un(4.3 Ohm), red - Uin= 3 Vrms (30 turn)
Pico Technology www.picotech.com PicoScope 6 Версия 6.11.10.1608 PicoScope 4262

Изо. 7.

при отсутствии подсоединения провода питания модели антенны **ЦАN№1** ко вторичному контуру с целью определения эффективного значения индуктивности во вторичном контуре, зная значение ёмкости конденсатора С. Затем определяется значение частоты резонанса при подсоединённом проводе модели **ЦАN№1**, как это показано на **Фото. 2.** с целью определения значения собственной ёмкости $C_{эа}$[pF].

При этом одновременно на расстояние 1.4 м регистрировался спектр излученного ей сигнала с помощью, собственноручно изготовленными автором либо , либо **Ферритовой Антенной MAN№7**, внешний вид которых показан справа на **Фото. 1.** На **Изо. 3, 4, 5** представлены следующие изображения спектра при сканировании сигнала генератора. Время сканирования **T= 500** сек. во время регистрации каждого из приведённых изображений.

3.3 Итак, с помощью изображений **Изо.7**. и **Изо. 6** определяем значение резонансной частоты и значение полосы пропускания

Зная величину **C = 2.184 nF**, определяется эффективная индуктивность вторичного контура

$L_{eff} = \frac{1}{4\pi^2 f_{o1}{}^2 C}$ **= 6.47 mH. (3 - 10).**

Интересно отметить, что на частоте 1 КГц индуктивность тороида **L = 6.38 mH (3 - 8)**, поэтому

Знание значения полосу пропускания , определяет эффективную добротность вторичного контура $Q2_{eff} = \frac{f_{o2}}{BW2}$ **= 17.07 (3 - 11)**. Определив Волновое сопротивление вторичного контура $\rho_2 = \sqrt{\frac{L_{eff}}{C}}$ **= 1721 Ом. (3 - 12)**, определяется эквивалентное сопротивление потерь вторичного контура $r2_{eff} = \frac{\rho_a}{BW2}$ **= 100.82 Ом. (3 - 13)** По данным выше значениям L1 и L2 согласующего трансформатора Тр определяется коэффициент трансформации

$k_{tr} = \sqrt{\frac{L2}{L1}}$ **= 0.84 (3 - 14)**. Зная внутреннее сопротивление выхода Генератора r_i = 50 Ом, определяется вносимое им сопротивление потерь во вторичный контур $r_{gi} = r_i k_{tr}{}^2$ **= 35.28 Ом (3 -15)** и реальное сопротивление потерь $r_{d2} = r2_{eff} - Rt2 - r_{gi}$ **= 61,25 Ом (3 - 16)** вторичного контура для частоты Поэтому реальная добротность вторичного контура $Q = \frac{\rho_a}{r_{d2}}$ **= 28.11 (3 - 17)**, а это значит, амплитудное значение напряжения на конденсаторе **C**, а следовательно на входе модели **ЦАN№1** определяется как $U_{Cm} = U_{moutG} k_{tr} Q$ **(3 - 18).** Так как $\mathbf{U_{m\ outG}}$ = 1.41* 3 В = **4.23 В. (3 - 23)**. Поэтому $\mathbf{U_{Cm}}$ **= 99.9 В (3 - 24)**

3.1б. Повторяя подобные вычисления при обработке характера полученных спектров **Изо.4 и Изо.5.** и зная значение $\mathbf{L_{eff}}$ (см. формулу **3 - 7**) и значение величины ёмкости конденсатора **C**

можно получить значение величины собственной ёмкости рассматриваемой модели Цилиндрической Антенны, указанное ранее **= 56.7 pF.** Поэтому возможно вычислить для значения резонансной частоты

$$I_{am} = U_{Cm} 2\pi C_{Ca} f_{o2} = 1.46\text{мА} \quad \textbf{(3 - 25)}.$$

$(\vec{E}_\theta, E_\rho, \vec{H}_\varphi)$

при значении несущей частоты

для расстояния **ρ = 1.4 м** при значениях амплитуды тока модели ЦА№1 **I_{am} = 0.015 А**, боковая поверхность которой образована фольгой из латуни толщиной **d = 0.17 мм** диаметра **D=6.4 см и длиной l_e = 38 см**. При значении частоты **= 41800 Гц**, длины волны в открытом пространстве $\lambda_0 = \frac{c_0}{f_0}$ = **7177 м (3 - 20)** и при значении углов **θ =0 , φ = 0 (3 - 21),** воспользовавшись (см. рисунок на **Изо.1**.) формулами **(1 - 27, 28, 29)** можно отыскать значения $(\vec{E}_\theta, E_\rho, \vec{H}_\varphi)$.

Очевидно, что амплитудное значение напряжённости электрического поля

$E_{\rho m}(\rho = 1.4, \theta = 0) = 0$ **(3 - 22)**

Для вычисления амплитудного значения электрической компоненты $\vec{E}_{\theta m}$ и амплитудного значения магнитной компоненты $\vec{H}_{\varphi m}$ напряжённостей электромагнитного поля автор воспользовался компьютерной программой **[4]** уравнений **(1 -27, 29),** учитывая, что

$\alpha D = 1.226\ 10^{-3}$ **(3 - 23)** $e^{-i\alpha D} = 1 - i1.226\ 10^{-3}$ **(3 - 24)**

$H_{\varphi m}(Iam = 0.0015A, l_e = 0.38м, \theta = 0)$ = **(4.188 10 $^{-8}$ + i 3.415 10 $^{-5}$) А/м (3 - 25)**

$|H_{\varphi m}(Iam = 0.0015A, l_e = 0.38м, \theta = 0)|$ =**3.415 10 $^{-5}$ А/м (3 - 26)**

$E_{\theta m}(Iam = 0.0015A, l_e = 0.38м, \lambda o = 7177м, W_0 = 377Ом, \rho = 1.4м, \theta = 0) =$

(-1.288 10 $^{-7}$ + i 10.746) В/м (3 - 27).

$|E_{\theta m}(Iam = 0.0015A, l_e = 0.38м, \lambda o = 7177м, W_0 = 377Ом, \rho = 1.4м, \theta = 0)|$= **10.477 В/м (3 - 28)**

4. Видим,

а) что $H_{\varphi m}(Iam = 0.0015A, l_e = 0.38м, \theta = 0)$

| в соответствии с рисунком Изо.1

б) тогда как

$|E_{\theta m}(Iam = 0.0015A, l_e = 0.38м, \lambda o = 7177м, W_0 = 377Ом, \rho = 1.4м, \theta = 0)|$

в) Видно, на примере теста модели **ЦА№1**, что

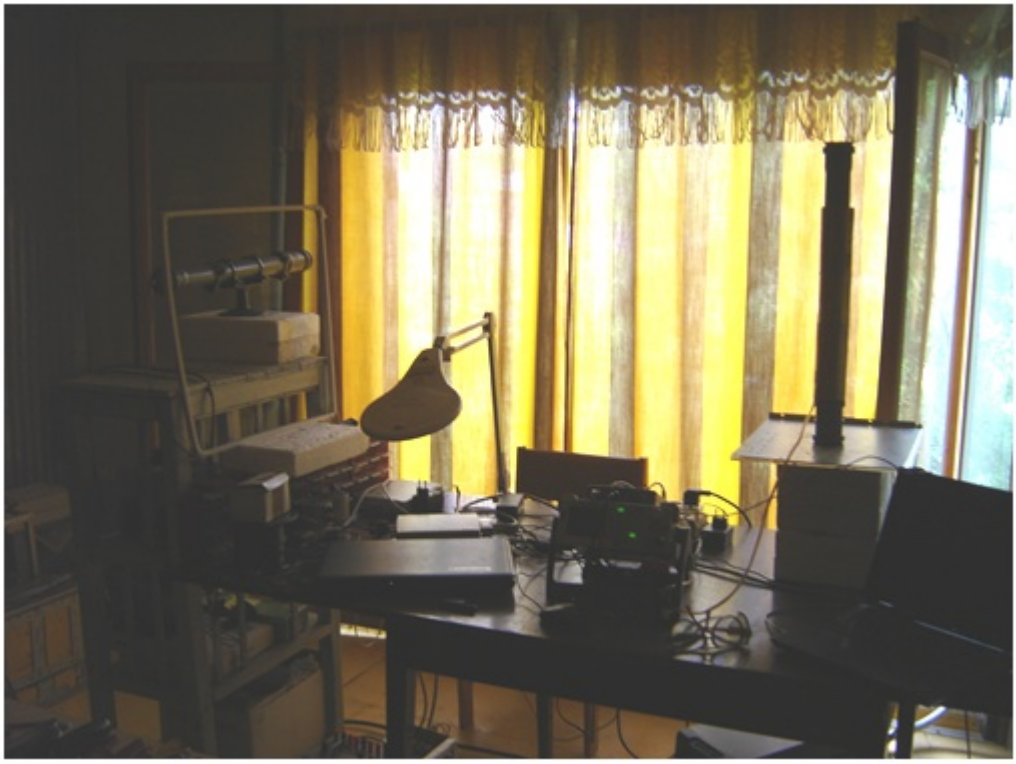
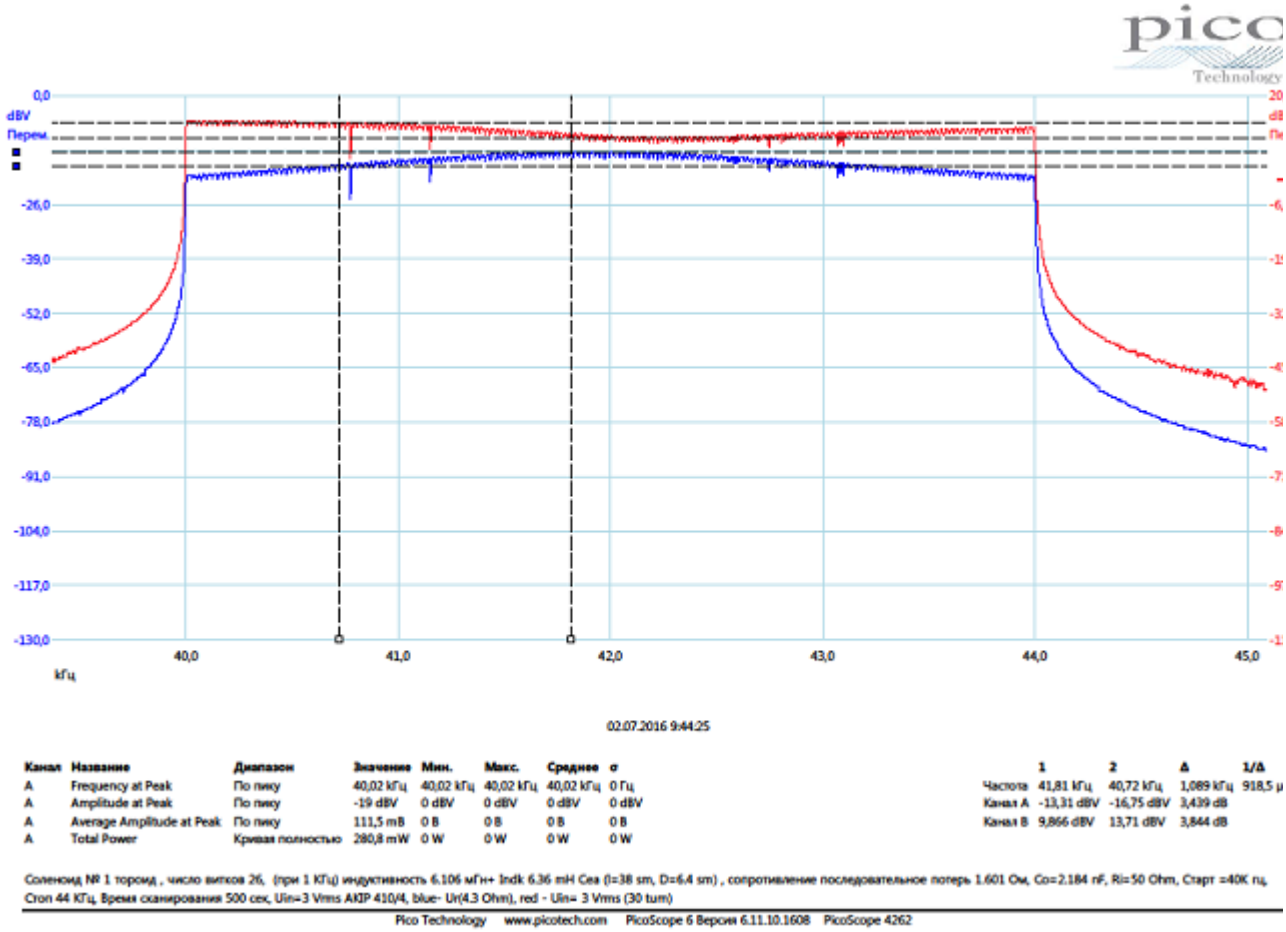
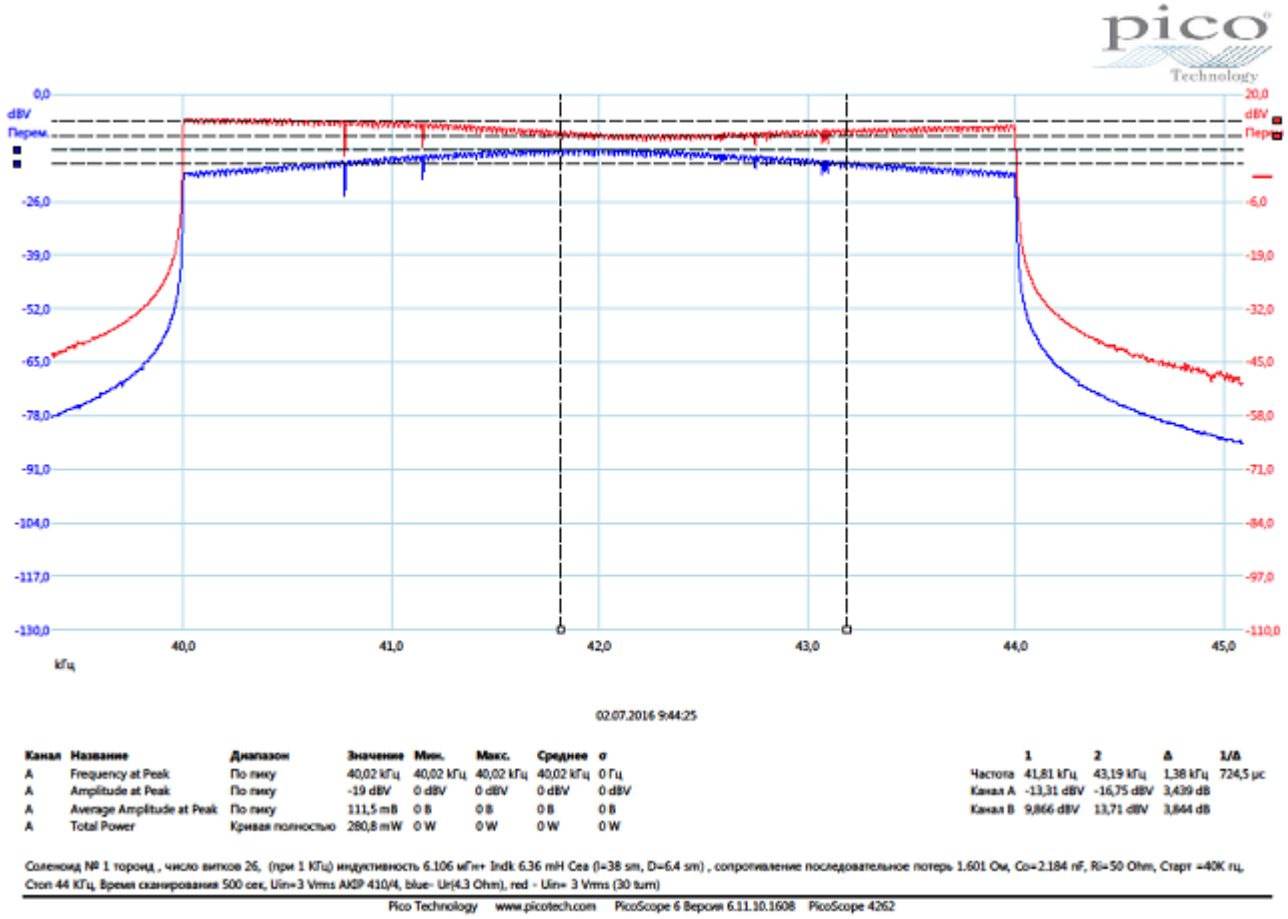


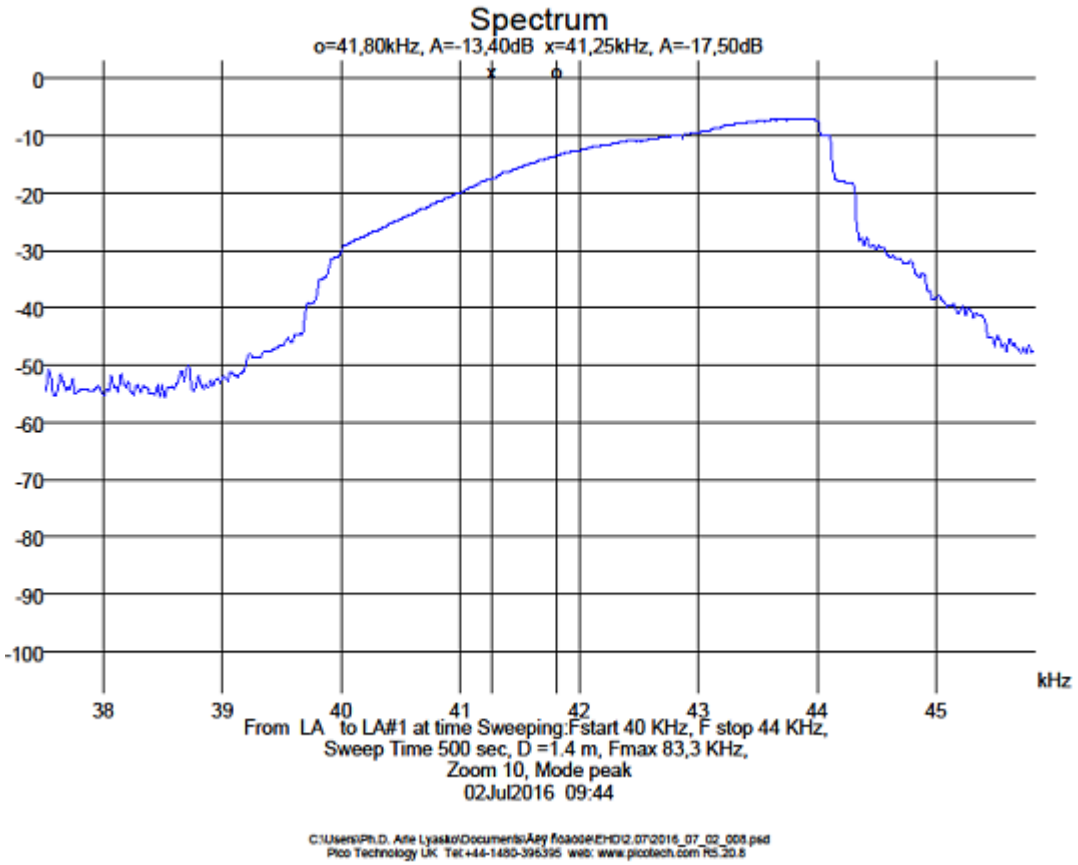
Фото. 4.


pico
Technology
0,0
dBV
Перем.
-26,0
-39,0
-52,0
-65,0
-78,0
-91,0
-104,0
-117,0
-130,0
40,0
41,0
42,0
43,0
44,0
45,0
kГц
02.07.2016 9:44:25
Канал Название Диапазон Значение Мин. Макс. Среднее σ
A Frequency at Peak По пику 40,02 kГц 40,02 kГц 40,02 kГц 40,02 kГц 0 Гц
A Amplitude at Peak По пику -19 dBV 0 dBV 0 dBV 0 dBV 0 dBV
A Average Amplitude at Peak По пику 111,5 mB 0 B 0 B 0 B 0 B
A Total Power Кривая полностью 280,8 mW 0 W 0 W 0 W 0 W
1 2 Δ 1/Δ
Частота 41,81 kГц 40,72 kГц 1,089 kГц 918,5 µ
Канал A -13,31 dBV -16,75 dBV 3,439 dB
Канал B 9,866 dBV 13,71 dBV 3,844 dB
Соленоид NR 1 тороид , число витков 26, (при 1 КГц) индуктивность 6.106 мГн+ Indk 6.36 mH Cea (l=38 sm, D=6.4 sm) , сопротивление последовательное потерь 1.601 Ом, Co=2.184 nF, Ri=50 Ohm, Старт =40K гц,
Стоп 44 КГц, Время сканирования 500 сек, Uin=3 Vrms AKIP 410/4, blue- Ur(4.3 Ohm), red - Uin= 3 Vrms (30 turn)
Pico Technology www.picotech.com PicoScope 6 Версия 6.11.10.1608 PicoScope 4262

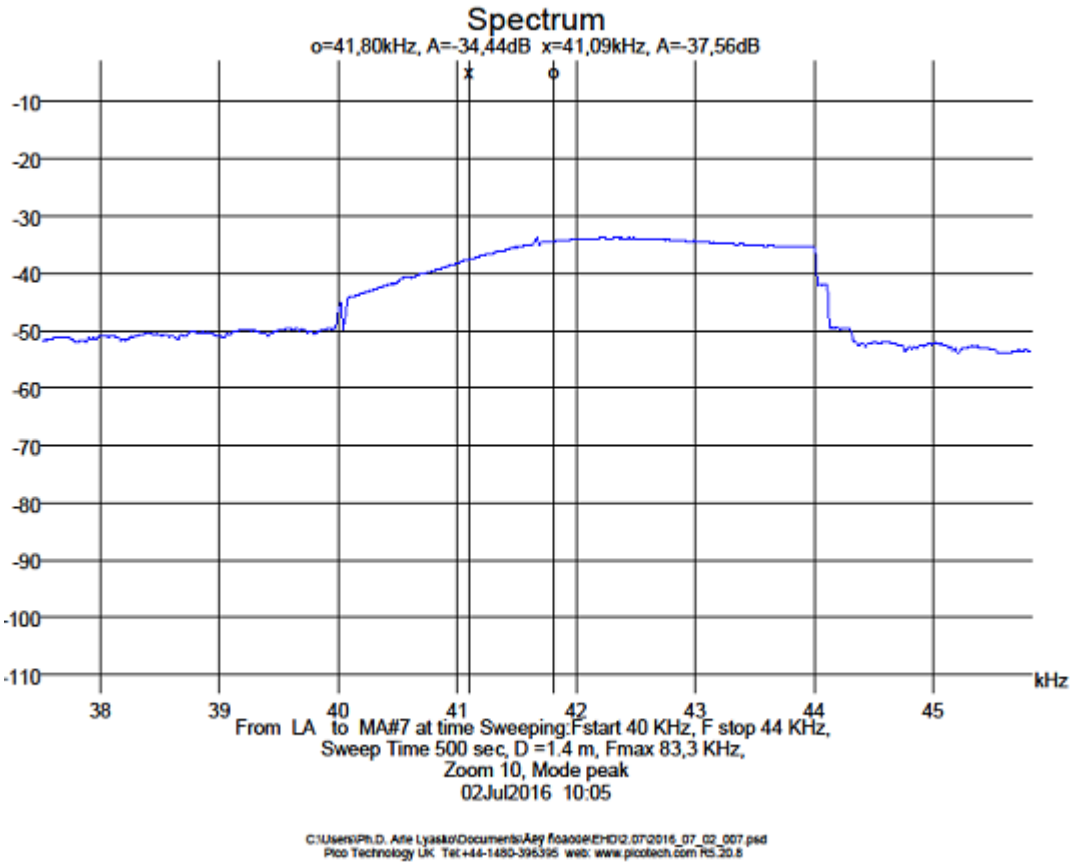
Изо.8.


pico
Technology
0,0
dBV
Перем.
-26,0
-39,0
-52,0
-65,0
-78,0
-91,0
-104,0
-117,0
-130,0
20,0
dBV
-6,0
-19,0
-32,0
-45,0
-58,0
-71,0
-84,0
-97,0
-110,0
40,0
41,0
42,0
43,0
44,0
45,0
кГц
02.07.2016 9:44:25
Канал Название Диапазон Значение Мин. Макс. Среднее σ
A Frequency at Peak По пику 40,02 кГц 40,02 кГц 40,02 кГц 40,02 кГц 0 Гц
A Amplitude at Peak По пику -19 dBV 0 dBV 0 dBV 0 dBV 0 dBV
A Average Amplitude at Peak По пику 111,5 mB 0 B 0 B 0 B 0 B
A Total Power Кривая полностью 280,8 mW 0 W 0 W 0 W 0 W
1 2 Δ 1/Δ
Частота 41,81 кГц 43,19 кГц 1,38 кГц 724,5 µс
Канал A -13,31 dBV -16,75 dBV 3,439 dB
Канал B 9,866 dBV 13,71 dBV 3,844 dB
Соленоид № 1 тороид , число витков 26, (при 1 КГц) индуктивность 6.106 мГн+ Indk 6.36 mH Cea (l=38 sm, D=6.4 sm) , сопротивление последовательное потерь 1.601 Ом, Co=2.184 nF, Ri=50 Ohm, Старт =40К гц,
Стоп 44 КГц, Время сканирования 500 сек, Uin=3 Vrms AKP 410/4, blue- Ur(4.3 Ohm), red - Uin= 3 Vrms (30 turn)
Pico Technology www.picotech.com PicoScope 6 Версия 6.11.10.1608 PicoScope 4262

Изо.9.


Spectrum
o=41,80kHz, A=-13,40dB x=41,25kHz, A=-17,50dB
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
38
39
40
41
42
43
44
45
kHz
From LA to LA#1 at time Sweeping:Fstart 40 KHz, F stop 44 KHz,
Sweep Time 500 sec, D =1.4 m, Fmax 83,3 KHz,
Zoom 10, Mode peak
02Jul2016 09:44
Pico Technology UK Tel:+44-1480-396395 web: www.picotech.com R5.20.8

Изо.10.



Изо. 11.

Одновременно со сканированием в течении . выходного напряжения Генератора в пределах для целей определения

ЛАN№1 и MAN№7 (АЧХ зарегистрированных ими сигналов изображены, соответственно на **Изо.11** и **Изо. 10**).

"Эффективная высота"регистрации **ЛАN№1** рассчитывается по формуле для Рамочных Антенн:

$$H_{эффЛА№1}(f) = \frac{2\pi NAeff}{\lambda}$$ **(4 - 1)**, где для **ЛАN№1 A_{eff} = 0,25 кв.м., N = 100 витков.**

для частоты $H_{эффЛА№1}(41.8КГц)$ = **0.022 м**

В соответствии с **Изо.11** на частоте был зарегистрирован уровень сигнала

В разделе 3.3 было установлено, что на расстоянии 1.4 м модуль напряжённости электрического поля, созданного моделью ЦАN№1 : $|E_{em}(Iam = 0.0015A, l_e = 0.38м, \lambda o = 7177м, W_0 = 377Ом, \rho = 1.4м, \theta = 0)| =$ **10.477 В/м (3 - 28)**

Поэтому теоретически значение амплитуды напряжен на выходе ЛАN№1 может быть определено по формуле $ULA\#1_m = H_{эффЛА} \, |E_{em}|$:

Уровень сигнала, зарегистрированный ферритовой антенной **МАN№7**, представленный на Фото. 4,

, это значит

Сравнивая амплитудные значения принятых антеннами **ЛАN№1 и МАN№7** сигналов от модели ЦАN№1, создавшей практически в месте их расположения один и тот же уровень электрической напряжённости поля, позволяет определить значение "Эффективная высота"регистрации **МАN№7:**

$H_{эффМА№8}(41.8КГц) = 0.022*(0.019/0.214)$ м **= 1.95 10 $^{-3}$ м.**

5. Литература

[1] Г. З. Айзенберг, монография " Антенны Ультракоротких Волн", Гос. Изд. Лит. по вопросам Связи и Радио", Москва, 1957 г.

[2] А. Б. Ляско, Описание Изобретения Патента РФ № 25300233 "Способ преобразования в открытом пространстве двух направленных в одну сторону линейно поляризованных моногармоничных потоков электромагнитных волн в направленный поток Волн де Бройля" от 12.08.014 г.

[3] Х. Мейнке Ф. Гудлах, "Радиотехнический Справочник", Госэнергоиздат, Москва, 1960 г.

[4] Компьютерная программа "MathCAD", MathSoft. Inc., 1999 г.