

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:

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

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

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

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

\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.

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

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

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

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

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

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

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

и при условиях:

$$l_e \ll \frac{\lambda}{2\pi} \quad (1-21) \quad d \ll l_e \quad (1-22) \text{ является элементарным Электрическим Диполем Герца}$$

(ЭГД).

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

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:

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

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

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

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:

$$H_{\varphi m} = i \frac{I_{ам} l \epsilon}{2\pi \lambda \rho} \cos\theta \quad (1 - 30)$$

$$E_{\theta m} = -i \frac{I_{ам} l \epsilon W}{2\pi \lambda \rho} \cos\theta \quad (1 - 31)$$

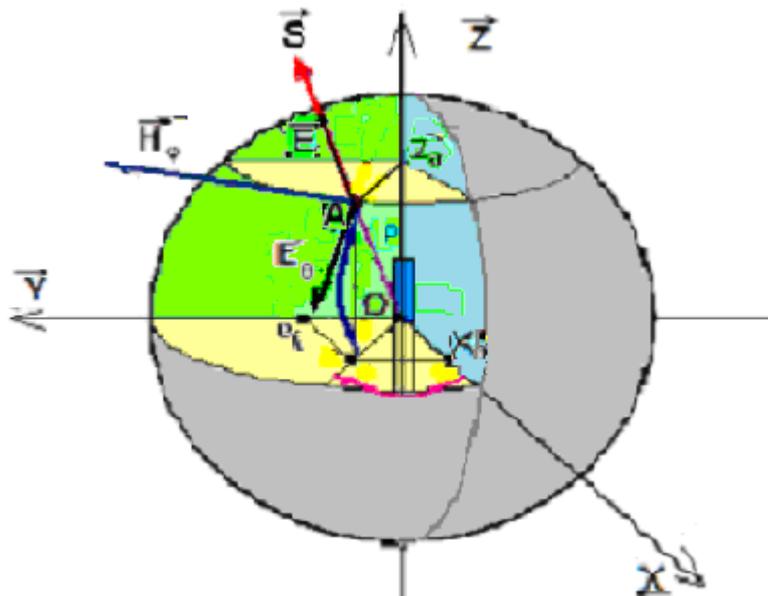
Амплитудное значение вектора Умова-Пойнтинга, который с физической точки зрения являющейся плотностью секундного «расхода» электромагнитной энергии:

$$(1 - 33)$$

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}_s 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 $\lambda \gg l_e > d$ (2 – 1).

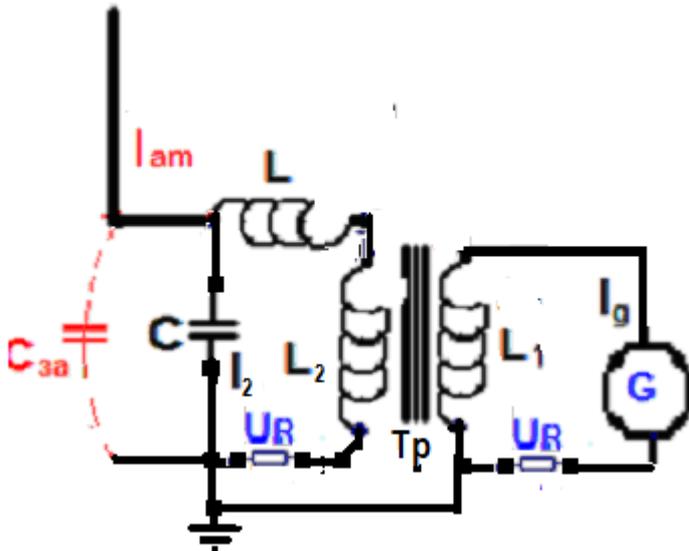
Естественно, что такая «Вертикальная Штыревая Антенна» будет обладать в свободном пространстве «собственной ёмкостью» $C_{за}$ относительно «Земли».

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 $C_{за}$ (собственной ёмкости Антенны).

Автор для измерения этой виртуальной «собственной ёмкости» $C_{за}$ передающей вертикальной (штыревой или цилиндрической) антенны предпочитает использовать схему, обеспечивающую прохождения в теле антенны переменного тока с амплитудным значением $I_{ам}$ 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 подсоединяется в точке соединения **C** и **L**. Для контроля величины протекаемого тока I_{2m} между концом **L** и «заземлённого» конца обмотки согласующего трансформатора **T_p** включено сопротивление (в данном случае = 4.3 Ом, 1%). Первичная обмотка **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 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 C контура питания антенны образуют с индуктивностью

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

Напряжение от генератора моно гармонического 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:

$$C_i[pF] = \frac{0.24l_\epsilon[см]}{\text{Log}\left(\frac{l_\epsilon}{d}\right)} \quad (3 - 1), \text{ где соотношение между } l_\epsilon \text{ и } d \text{ определяется выражениями}$$

$$l_\epsilon \ll \frac{\lambda}{2\pi} \quad (3 - 2) \quad d \ll l_\epsilon \quad (3 - 3).$$

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

$$C_{sa}[pF] = M \frac{0.24l_\epsilon[см]}{\text{Log}\left(\frac{l_\epsilon[см]}{d[см]}\right)} \quad (3 - 5), \text{ где } M = \xi \frac{\pi D[см]}{d[см]} \quad (3 - 6), \text{ где } \xi < 1 \text{ - поправочный}$$

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 ЦАН№1 - антенна цилиндрической формы, находящееся в вертикальном положении, диаметра $D = 1.5 \text{ см}$, боковая поверхность которой выполнена из латунной фольги толщиной $d = 0.17 \text{ мм}$.

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

$C_i = 2.73 \cdot \frac{0.24 \cdot 1.5}{\text{Log}\left(\frac{1.5}{0.017}\right)} = 1182.8$. При значении $M = 1$ можно было бы достичь значения $C_{sa} = 3328.8$ (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 $C_{sa} = 56.7 \text{ pF}$ экспериментально значение только $C_{sa} = 56.7 \text{ pF}$.

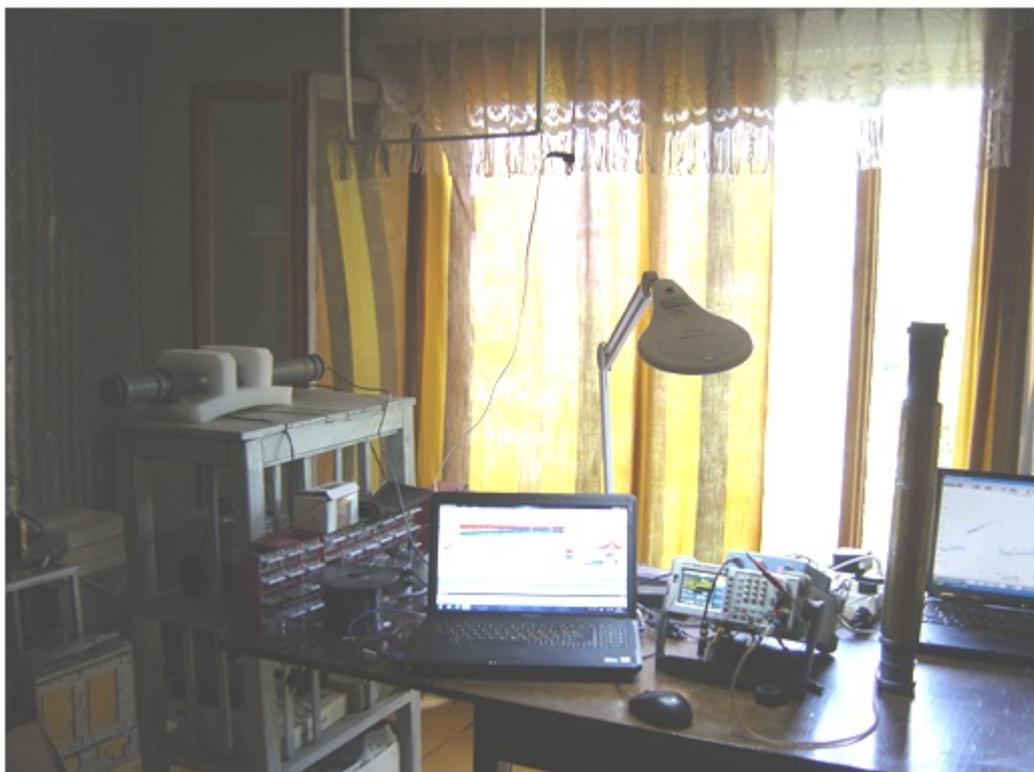


Фото.1. Слева модель MAN^{№7}, выше модель ЛАН^{№1} и справа модель ЦАН^{№1}

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) $C = 2186 \text{ pF}$ (1%, 1600 В) с одним из концов вторичной обмотки согласующего трансформатора T_r (на Фото.2 он зелёно - красного цвета).

Параметры согласующего трансформатора T_r : число витков первичной обмотки $N_1 = 30$. Число витков вторичной обмотки $N_2 = 26$. На частоте 1 КГц измерения с помощью цифрового L-C-R прецизионного моста (дали: $L_2 = 6.106 \text{ mH}$, $r_1 = 0.786 \text{ Ohm}$, $Q = 48,8$. $L_1 = 8.627 \text{ mH}$, $r_2 = 1.012 \text{ Ohm}$, $Q = 53.6$. (см. **Фото.3**.)



Фото. 2.

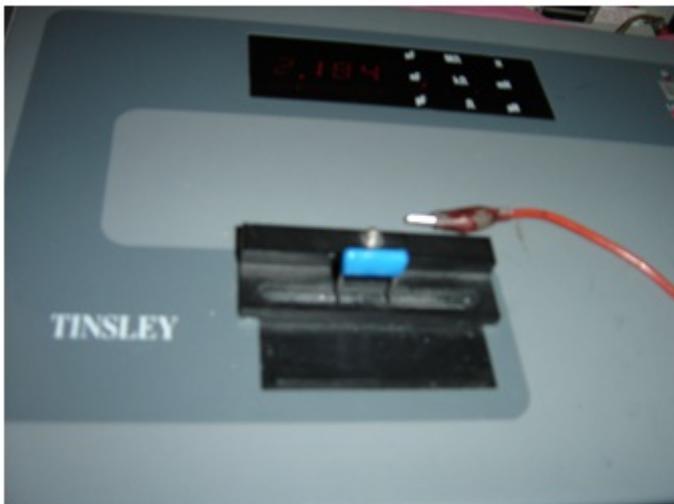


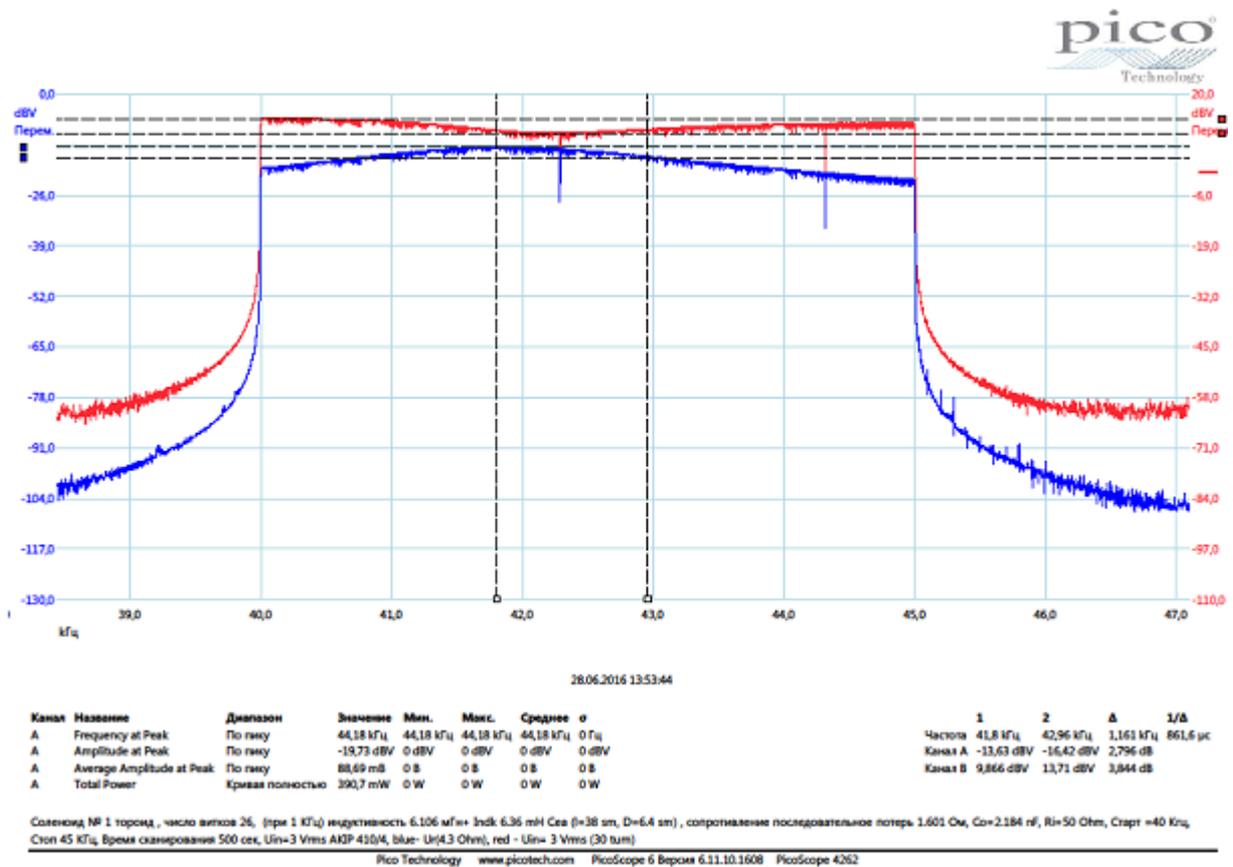
Фото.3. В момент измерения величины конденсатора С.

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: $L = 6.38 \text{ mH}$ (**3 - 8**), $r = 1.608 \text{ Ohm}$, $Q = 34.95.$, при этом $N = 194$ витка содержит его обмотка. На частоте 1 КГц $C = 2.184 \text{ nF}$ (**3 - 9**).

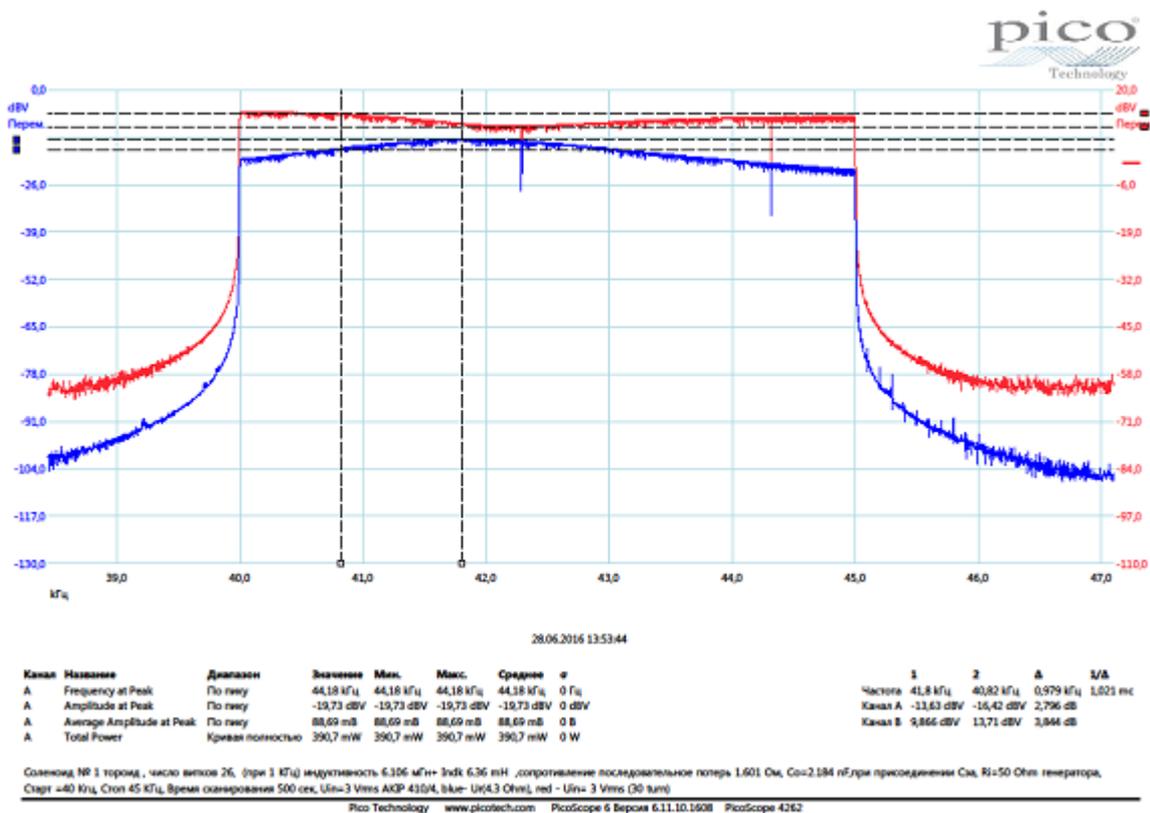
3.2. Определение основных характеристик модели Цилиндрической Антенны (ЦАН№1) представленной на Фото. 2.

Сначала определяются параметры испытываемой схемы обнаружением частоты резонанса

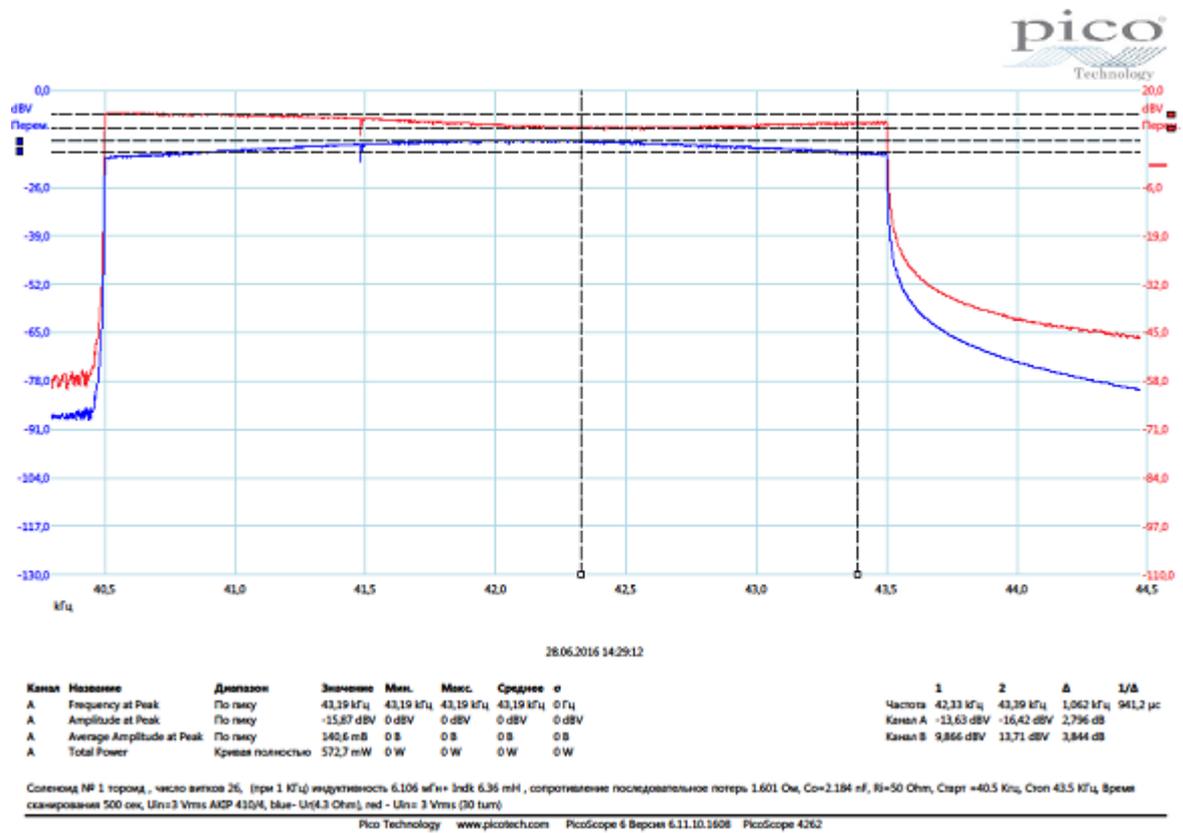
fo1 во вторичном контуре по максимуму показаний напряжения , на калиброванном сопротивлении



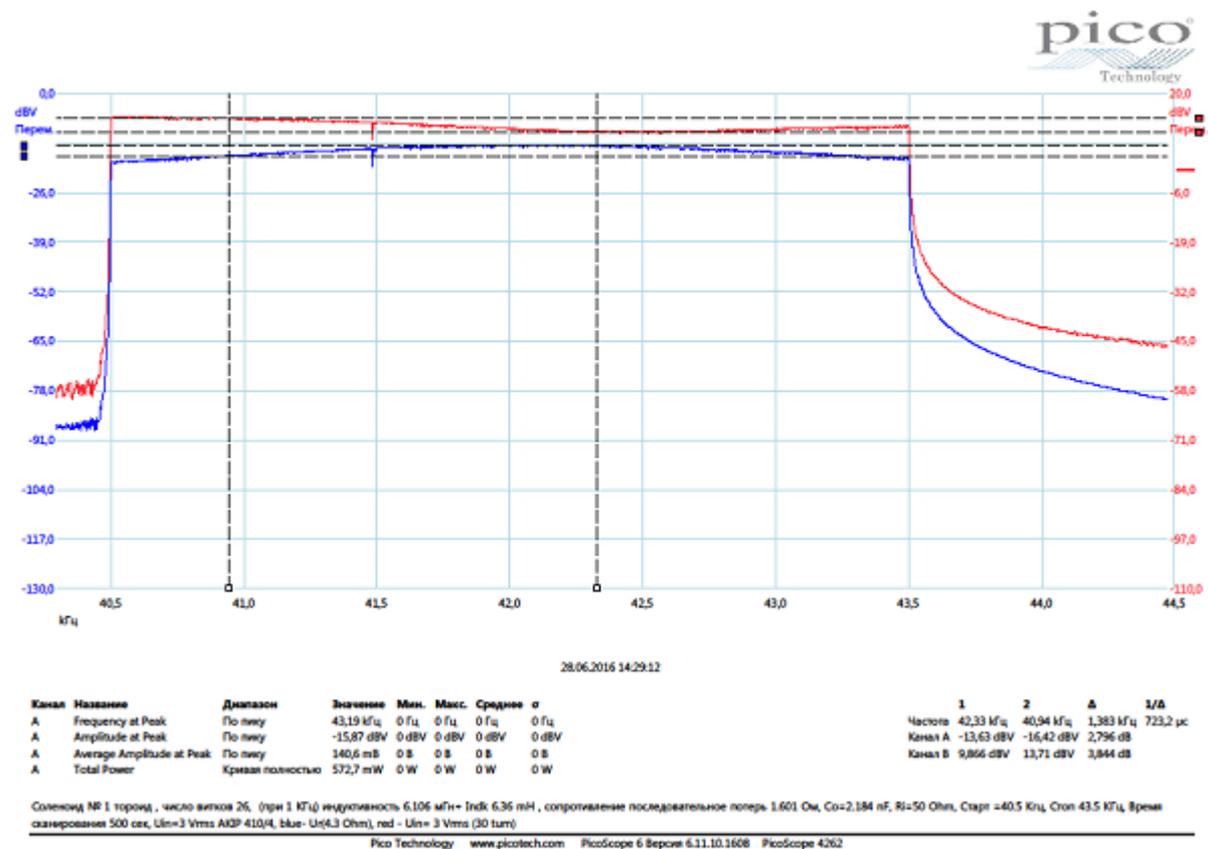
Изо. 4.



Изо.5.



Изо. 6.



Изо. 7.

при отсутствии подсоединения провода питания модели антенны ЦАН№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 ЦАН№1, как это показано на **Фото. 2.** с целью определения значения собственной ёмкости $C_{эa}$ [pF].

При этом одновременно на расстояние 1.4 м регистрировался спектр излученного ей сигнала с помощью, собственноручно изготовленными автором либо , либо **Ферритовой Антенной МАН№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

$$L_{эф} = \frac{1}{4\pi^2 f_{o1}^2 C} = 6.47 \text{ мН. (3 - 10).}$$

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

Знание значения полосы пропускания , определяет эффективную добротность

вторичного контура $Q_{2эф} = \frac{f_{o2}}{BW2} = 17.07$ (3 - 11). Определив Волновое сопротивление вторичного

контура $\rho_2 = \sqrt{\frac{L_{эф}}{C}} = 1721 \text{ Ом. (3 - 12)}$, определяется эквивалентное сопротивление потерь

вторичного контура $r_{2эф} = \frac{\rho_a}{BW2} = 100.82 \text{ Ом. (3 - 13)}$ По данным выше значениям L1 и L2 согласующего трансформатора Tr определяется коэффициент трансформации

$k_{tr} = \sqrt{\frac{L2}{L1}} = 0.84$ (3 - 14). Зная внутреннее сопротивление выхода Генератора $r_i = 50 \text{ Ом}$,

определяется вносимое им сопротивление потерь во вторичный контур $r_{gi} = r_i k_{tr}^2 = 35.28 \text{ Ом (3 - 15)}$

и реальное сопротивление потерь $r_{a2} = r_{2эф} - R_{t2} - r_{gi} = 61,25 \text{ Ом (3 - 16)}$ вторичного контура для

частоты Поэтому реальная добротность вторичного контура $Q = \frac{\rho_a}{r_{a2}} = 28.11$ (3 - 17), а это значит, амплитудное значение напряжения на конденсаторе **C**, а следовательно на входе модели ЦАН№1 определяется как

$U_{cm} = U_{m outG} k_{tr} Q$ (3 - 18). Так как $U_{m outG} = 1.41 * 3 \text{ В} = 4.23 \text{ В. (3 - 23)}$. Поэтому **U_{cm} = 99.9 В (3 - 24)**

3.16. Повторяя подобные вычисления при обработке характера полученных спектров **Изо.4** и **Изо.5.** и зная значение **L_{эф}** (см. формулу 3 - 7) и значение величины ёмкости конденсатора **C**

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

$$I_{ам} = U_{см} 2\pi C_{са} f_{o2} = 1.46 \text{ mA} \quad (3 - 25).$$

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

при значении несущей частоты

для расстояния $\rho = 1.4 \text{ м}$ при значениях амплитуды тока модели ЦАН№1 $I_{ам} = 0.015 \text{ А}$, боковая поверхность которой образована фольгой из латуни толщиной $d = 0.17 \text{ мм}$ диаметра $D=6.4 \text{ см}$ и длиной $l_e = 38 \text{ см}$. При значении частоты $= 41800 \text{ Гц}$, длины волны в открытом

пространстве $\lambda_0 = \frac{c_0}{f_0} = 7177 \text{ м} \quad (3 - 20)$ и при значении углов $\theta = 0, \varphi = 0 \quad (3 - 21)$, 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

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

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

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

$$H_{\varphi см}(I_{ам} = 0.0015 \text{ А}, l_e = 0.38 \text{ м}, \theta = 0) = (4.188 \cdot 10^{-8} + i 3.415 \cdot 10^{-5}) \text{ А/м} \quad (3 - 25)$$

$$|H_{\varphi см}(I_{ам} = 0.0015 \text{ А}, l_e = 0.38 \text{ м}, \theta = 0)| = 3.415 \cdot 10^{-5} \text{ А/м} \quad (3 - 26)$$

$$E_{\theta см}(I_{ам} = 0.0015 \text{ А}, l_e = 0.38 \text{ м}, \lambda_0 = 7177 \text{ м}, W_0 = 377 \text{ Ом}, \rho = 1.4 \text{ м}, \theta = 0) = (-1.288 \cdot 10^{-7} + i 10.746) \text{ В/м} \quad (3 - 27).$$

$$|E_{\theta см}(I_{ам} = 0.0015 \text{ А}, l_e = 0.38 \text{ м}, \lambda_0 = 7177 \text{ м}, W_0 = 377 \text{ Ом}, \rho = 1.4 \text{ м}, \theta = 0)| = 10.477 \text{ В/м} \quad (3 - 28)$$

4. Видим,

а) что

$$H_{\varphi см}(I_{ам} = 0.0015 \text{ А}, l_e = 0.38 \text{ м}, \theta = 0)$$

в соответствии с рисунком Изо.1

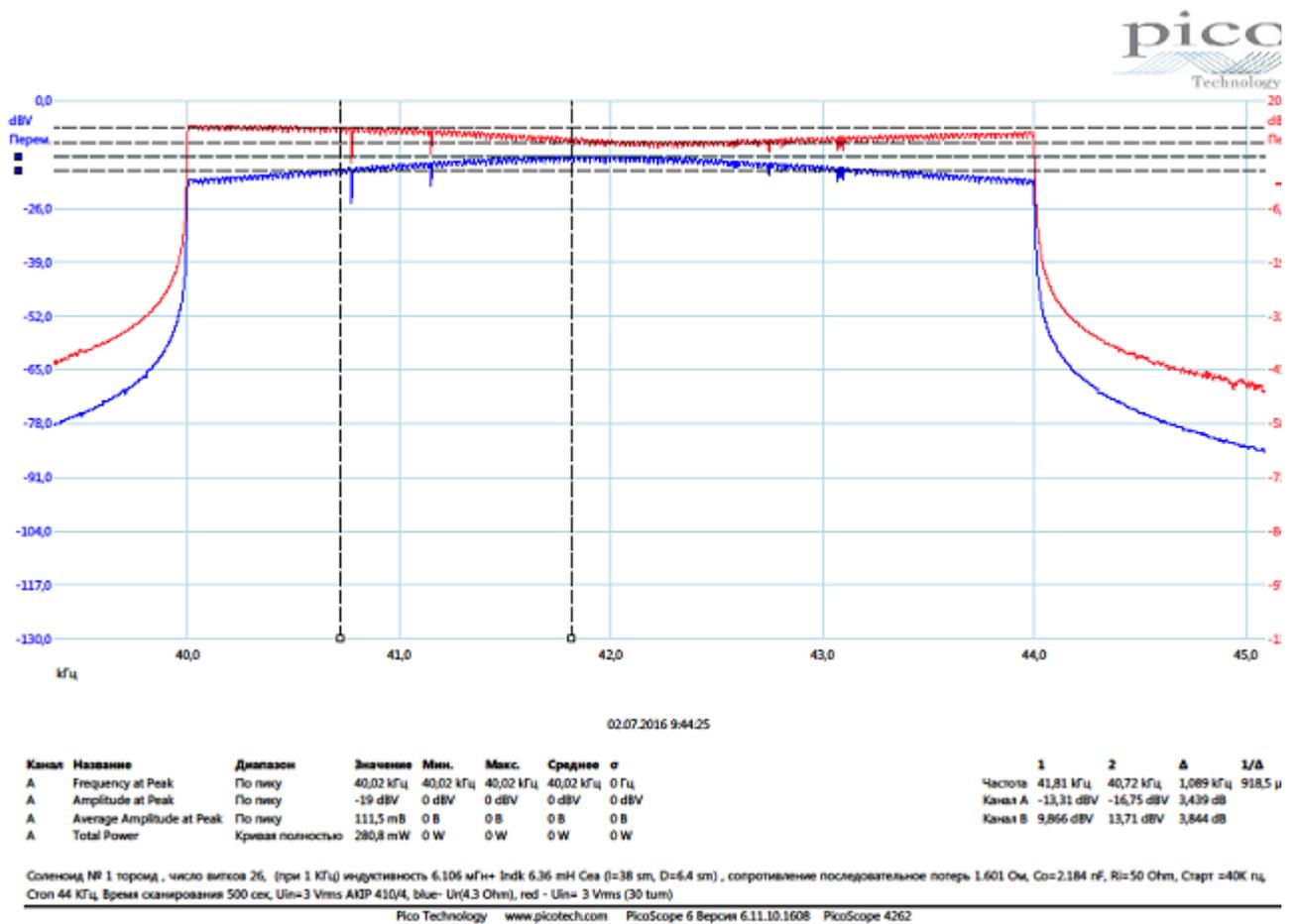
б) тогда как

$$|E_{\theta см}(I_{ам} = 0.0015 \text{ А}, l_e = 0.38 \text{ м}, \lambda_0 = 7177 \text{ м}, W_0 = 377 \text{ Ом}, \rho = 1.4 \text{ м}, \theta = 0)|$$

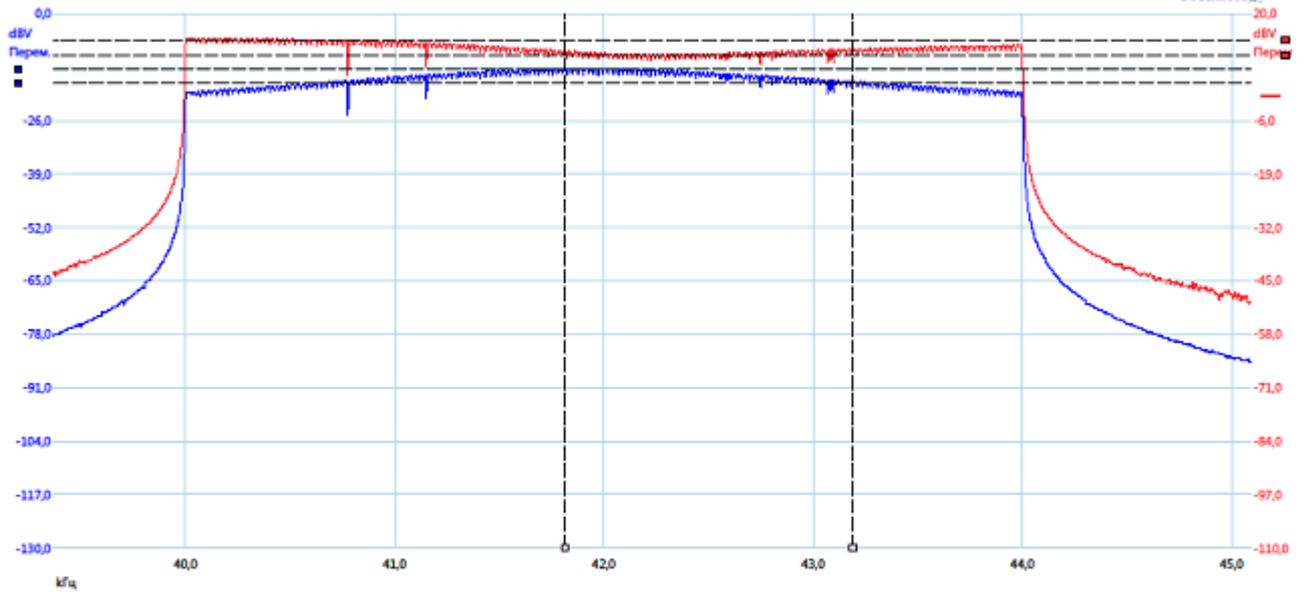
в) Видно, на примере теста модели ЦАН№1, что



Фото. 4.



Изо.8.



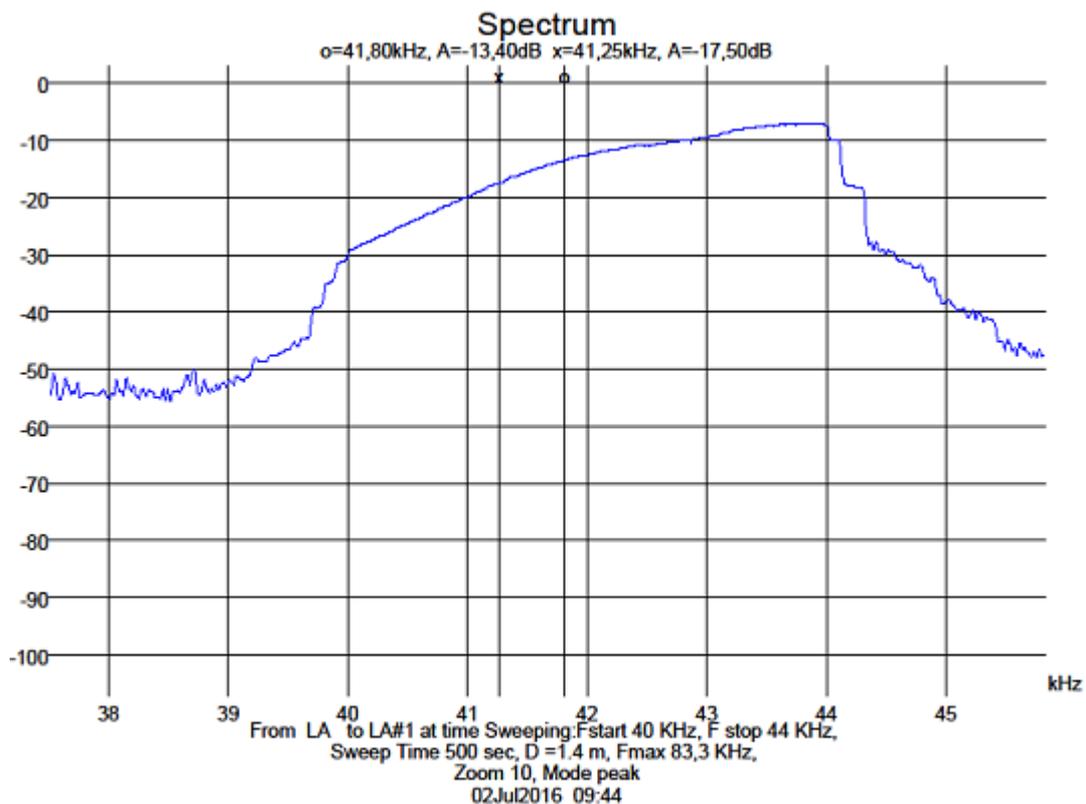
02.07.2016 9:44:25

Канал	Название	Диапазон	Значение	Мин.	Макс.	Среднее	σ	1	2	Δ	1/A	
A	Frequency at Peak	По пик	40,02 кГц	40,02 кГц	40,02 кГц	40,02 кГц	0 Гц	Частота	41,81 кГц	43,19 кГц	1,38 кГц	724,5 μ s
A	Amplitude at Peak	По пик	-19 dBV	0 dBV	0 dBV	0 dBV	0 dBV	Канал A	-13,31 dBV	-16,75 dBV	3,439 dB	
A	Average Amplitude at Peak	По пик	111,5 мВ	0 В	0 В	0 В	0 В	Канал B	9,866 dBV	13,71 dBV	3,844 dB	
A	Total Power	Кривая полностью	280,8 мВт	0 Вт	0 Вт	0 Вт	0 Вт					

Сolenoid №1 торца, число витков 26, (при 1 кГц) индуктивность 6.106 мГн+ IndL 6.36 мН Sea (r=38 мм, D=64 мм), сопротивление последовательное потерь 1.601 Ом, Co=2.184 нФ, Ri=50 Ом, Старт =40кГц, Стоп 44 кГц, Время сканирования 500 сек, Ulin=3 Vrms АКФ 410/4, blue- U_r(4.3 Ohm), red - U_{in}= 3 Vrms (30 turn)

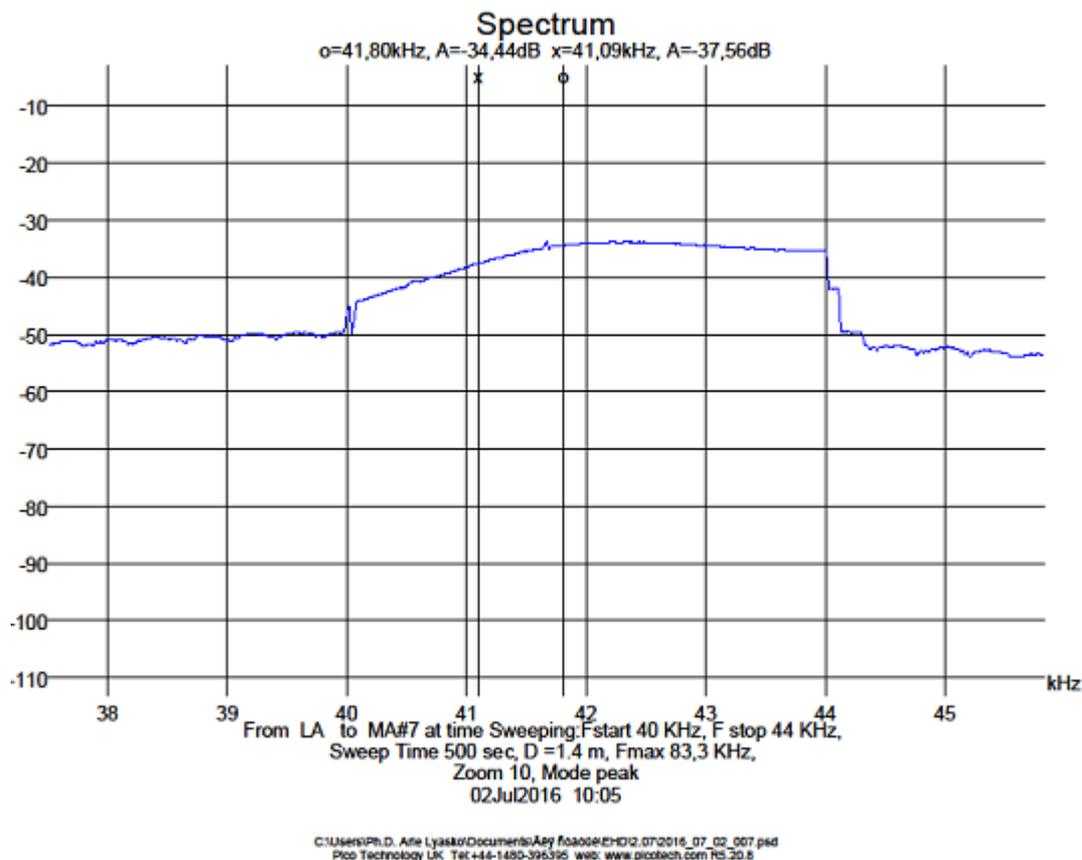
Pico Technology www.picotech.com PicoScope 6 Версия 6.11.10.1608 PicoScope 4262

Изо.9.



C:\Users\Ph.D. Afie Lyasko\Documents\Ary fca00e\EHD12.072016_07_02_008.psd
Pico Technology UK Tel:+44-1480-396395 web: www.picotech.com RS 30.8

Изо.10.



Изо. 11.

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

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

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

$$H_{эффЛАН\#1}(f) = \frac{2\pi N A_{eff}}{\lambda} \quad (4 - 1), \text{ где для ЛАН\#1 } A_{eff} = 0,25 \text{ кв.м., } N = 100 \text{ витков.}$$

для частоты $H_{эффЛАН\#1}(41.8 KHz) = 0.022 \text{ м}$

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 ЦАН№1 : $|E_{эм}(I_{ам} = 0.0015 A, l_g = 0.38 м, \lambda_0 = 7177 м, W_0 = 3770 м, \rho = 1.4 м, \theta = 0)| = 10.477 \text{ В/м} \quad (3 - 28)$

Поэтому теоретически значение амплитуды напряжен на выходе ЛАН№1 может быть определено по формуле $U_{ЛАН\#1 м} = H_{эффЛАН} |E_{эм}| :$

Уровень сигнала, зарегистрированный ферритовой антенной **MAN⁷**, представленный на Фото. 4,

, это значит

Сравнивая амплитудные значения принятых антеннами **ЛАН¹** и **MAN⁷** сигналов от модели ЦАН¹, создавшей практически в месте их расположения один и тот же уровень электрической напряжённости поля, позволяет определить значение "Эффективная высота" регистрации **MAN⁷**:

$$H_{\text{эфф. MAN}^7} (41.8 \text{ КГц}) = 0.022 * (0.019 / 0.214) \text{ м} = 1.95 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

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.