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:

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

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

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

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, [*Вольт / м*].

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

$\vec{D}$ - вектор индукции электрической составляющей электромагнитного поля с единицей измерения, [*Кулон / м*^{2}].

$\vec{B}$ - вектор индукции магнитной составляющей электромагнитного поля с единицей измерения, [*Тесла*], или [*Вольт сек / м*^{2}], или [*Вебер / м*^{2}].

$\vec{j}_e$ - вектор плотности электрического тока, [*Ампер / м*^{2}].

$\vec{j}_m$ - вектор плотности «магнитного тока», [*Вольт / м*^{2}].

ε_0 - коэффициент диэлектрической проницаемости в вакууме, [*Ампер сек / Вольт м*],

или [*Фарад / м*], где:

$$\varepsilon_0 = 1/36\pi 10^9 \quad (1.9)$$

ε_r - относительная величина диэлектрической проницаемости среды,

μ_0 - коэффициент магнитной проницаемости в вакууме, [*Вольт сек / Ампер м*],

или [*Генри / м*], где:

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \quad (1.10)$$

μ_r - относительная величина магнитной проницаемости среды,

σ_e - коэффициент проводимости электрического тока единичного объёма среды, [*1 / Ом м*],

σ_m - коэффициент проводимости « магнитного тока» единичного объёма среды, [*Ом / м*].

$$\lambda_0 = C_0 / f \quad (1.10)$$

f - частота несущей, излучаемая ЛМА в Гц.

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

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

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

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

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:

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

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

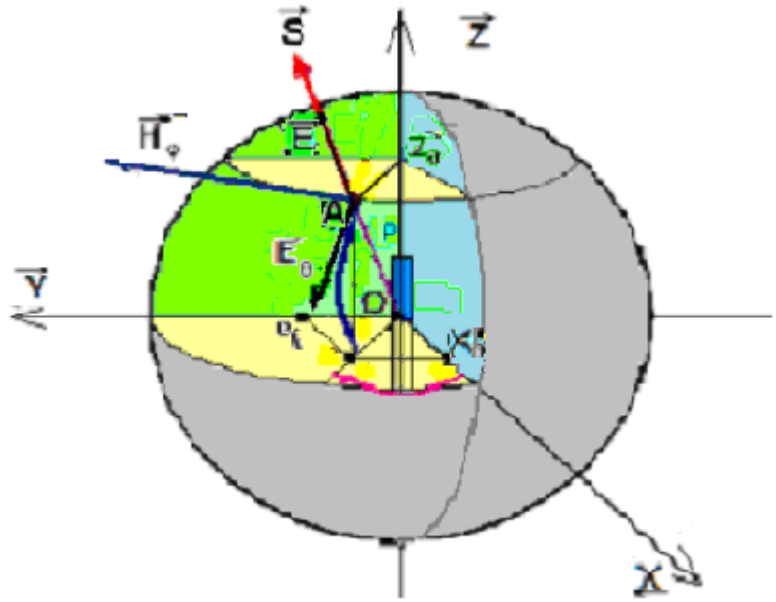
Амплитудное значение S_m *[Ватт/сек]* вектора Умова-Пойнтинга, который с физической точки зрения являющейся плотностью секундного «расхода» электромагнитной энергии:

$$S_m = E_{\theta m} H_{\varphi m} \qquad (1-33)$$

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).

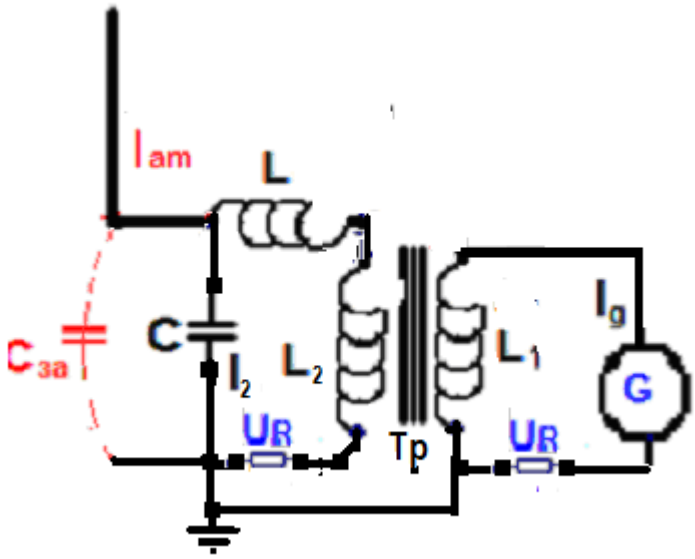
Естественно, что такая «Вертикальная Штыревая Антенна будет обладать в свободном пространстве "собственной ёмкостью" $C_{эа}$ относительно «Земли».

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 ***Rt2*** (в данном случае ***Rt2*** = 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 f_{01} во вторичном контуре питания током ЛМА, позволяет определить эффективное значение индуктивности $L_{2эфф}$ вторичного контура при отсоединённом проводе питания ЛМА для данной частоты. А в случае подсоединения по значению величины резонансной частоты f_{02} вычислить величину эффективной ёмкости $C_{эфф2} = C + C_{эа}$, зная величину $L_{2эфф}$. Собственная антенная ёмкость $C_{эа}$ и конденсатор С контура питания антенны образуют с индуктивностью $L_{2эфф}$ ***последовательную резонансную цепь со значением собственной резонансной частоты*** f_{02}***:***

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

Напряжение от генератора моно гармоничного напряжения частоты ***f*** вызывает в первичной обмотке согласующего трансформатора ток I_g . При включении калиброванного сопротивления R_t1 создаёт на нем напряжение U_{Rt1} , регистрация которого позволяет с необходимой точностью получить информацию, как о спектре сигнала генератора, так форму и амплитудное значение тока I_g. Во вторичной обмотке наводится напряжение $U_{вх2}$ частоты ***f***, которое вызывает ток I_2 ***(t)*** во вторичном контуре и при подсоединении провода ЛМА к нему вызывает ток в её теле со значением амплитуды I_{am}.

Напряжение U_{Rt2}, на калиброванном сопротивлении ***Rt2*** дает возможность ни только определять амплитудное значение тока I_{am} ***, обтекаемого контур питания антенной цепи, но его форму и спектр.***

По максимуму значения напряжения U_{Rt1} или U_{Rt2} при изменении значения частоты **f** выходного сигнала генератора **G** можно определить значение собственной частоты f_{01} ***или*** f_{02} ***цепи питания током ЛМА и значение амплитуды*** I_{am} ***, знание которого позволит определить в заданной точке пространства с помощью формул (1 - 26, 27, 28) амплитудные значения компонентов*** $(\vec{E}_\theta, E_\rho, \vec{H}_\varphi)$ ***напряжённостей электромагнитного поля в свободном пространстве.***

3. Важно предварительное знание теоретическое значение величины собственной емкости $C_{эа}$ для Штыревой или Цилиндрической (как показано ниже) Антенн в СДВ

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

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

$$l_e << \frac{\lambda}{2\pi} \quad (3-2) \qquad d << l_e \quad (3-3).$$

Но при сохранении этих требований можно методом суперпозиции использовать эту формулу для определения собственной ёмкости ***антенны, типа ЭГД***, тело которой представляет из себя вытянутый ***(длиной l_e) пустотелый цилиндр диаметра D***, боковая поверхность которого образована ***металлической фольгой толщиной d***, при этом

$D << \lambda / 2\pi$ (3 - 4)

$$C_{эа}[pF] = M \frac{0.24 l_e[см]}{Log(\frac{l_e[см]}{d[см]})}$$ (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 ***основных данных элементов для эквивалентной электрической схемы на Изо.2.***

Дана модель ЦАN№1 - антенна цилиндрической формы, находящееся в вертикальном положении, диаметра ***D=6.4 см и длиной l_e = 38 см***, 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).

$C_i[pF]$ = 2.73 M = 1182.8. При значении ξ = 1 можно было бы достичь значения $C_{эа}[pF]$ = 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 $C_{эа}[pF]$ = 56.7 pF.

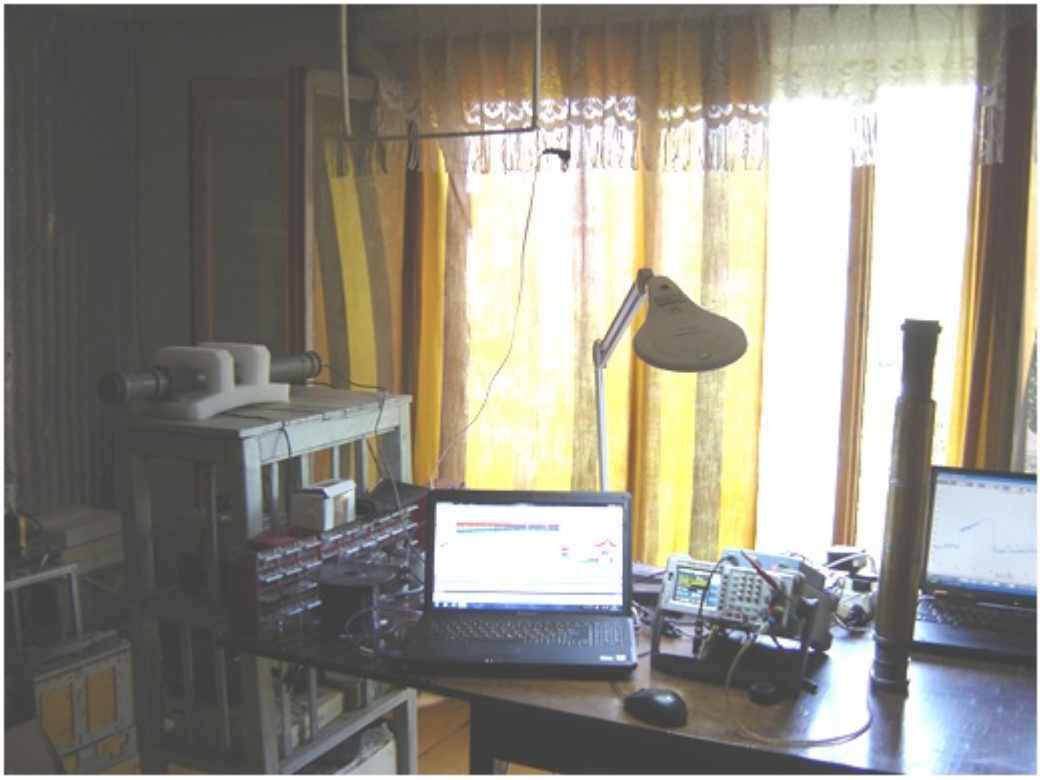


Фото.1. Слева модель МАN№7, выше модель ЛАN№1 и справа модель ЦАN№1

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.

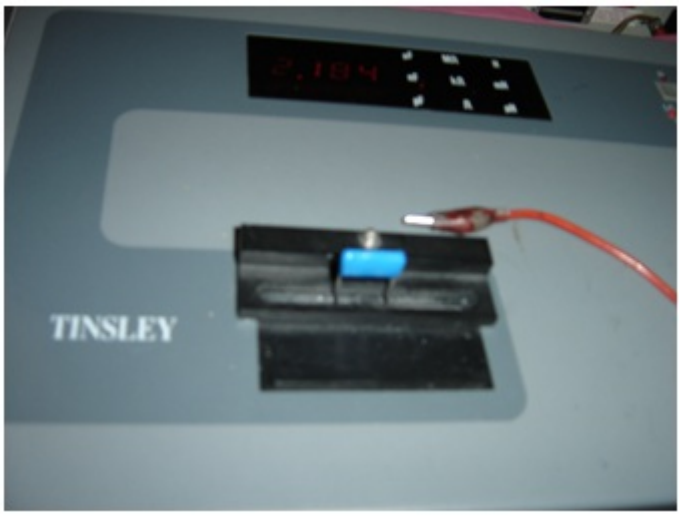


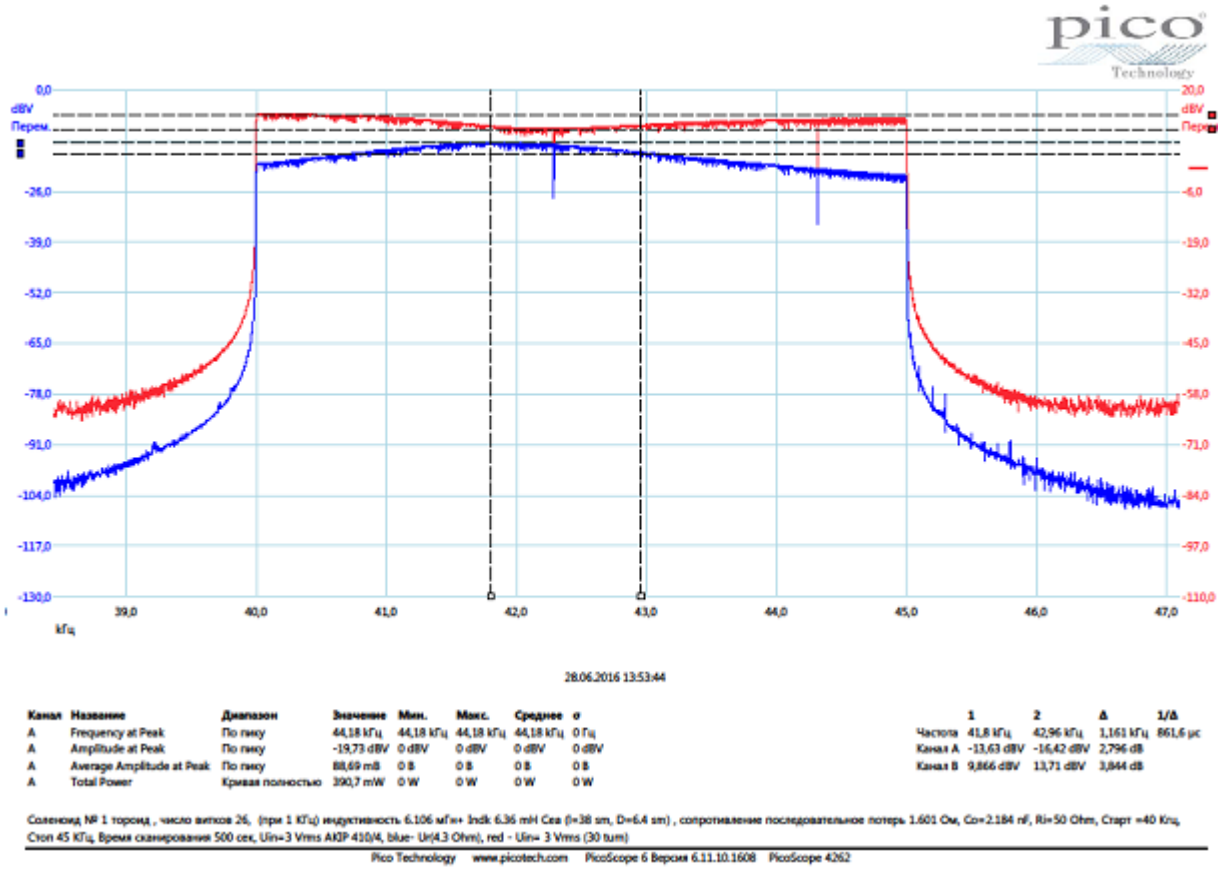
Фото.3. В момент измерения величины конденсатора С.

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)**.

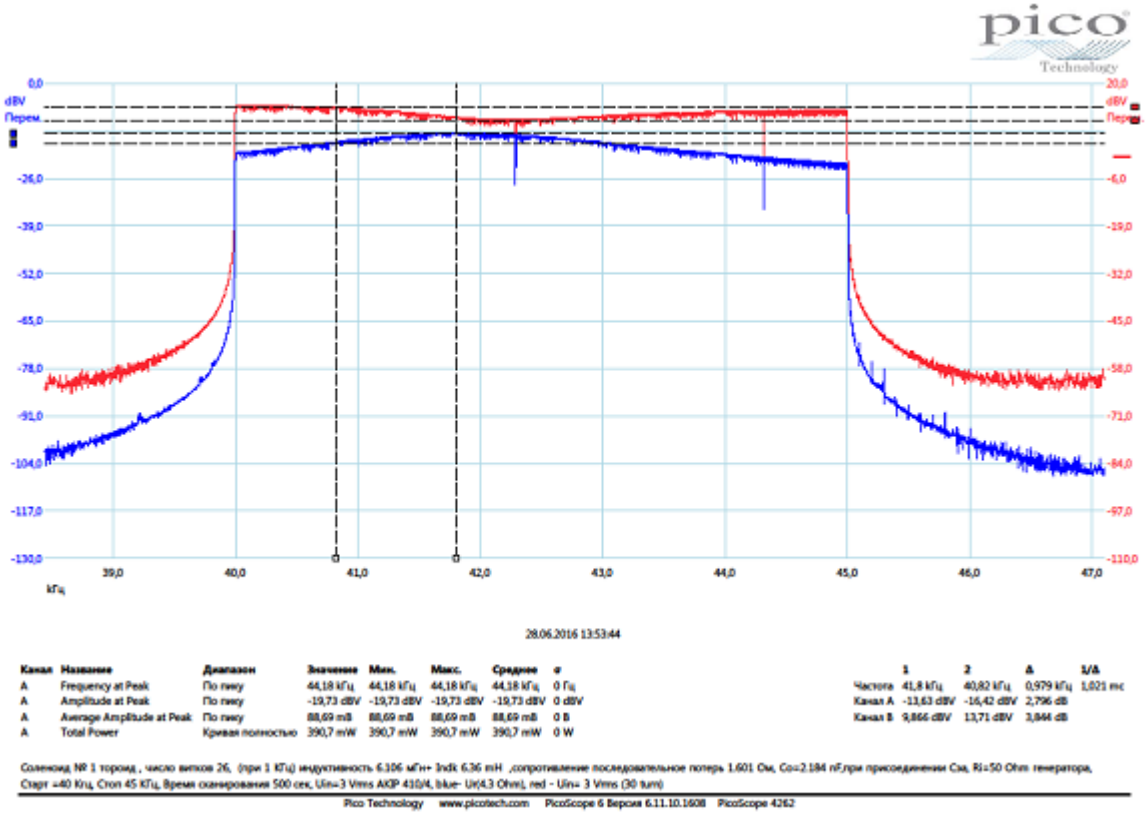
3.2. Определение основных характеристик модели Цилиндрической Антенны (ЦАN°1) представленной на Фото. 2.

Сначала определяются параметры испытываемой схемы обнаружением частоты резонанса

fo1 во вторичном контуре по максимуму показаний напряжения U_{Rt2} , на калиброванном сопротивлении

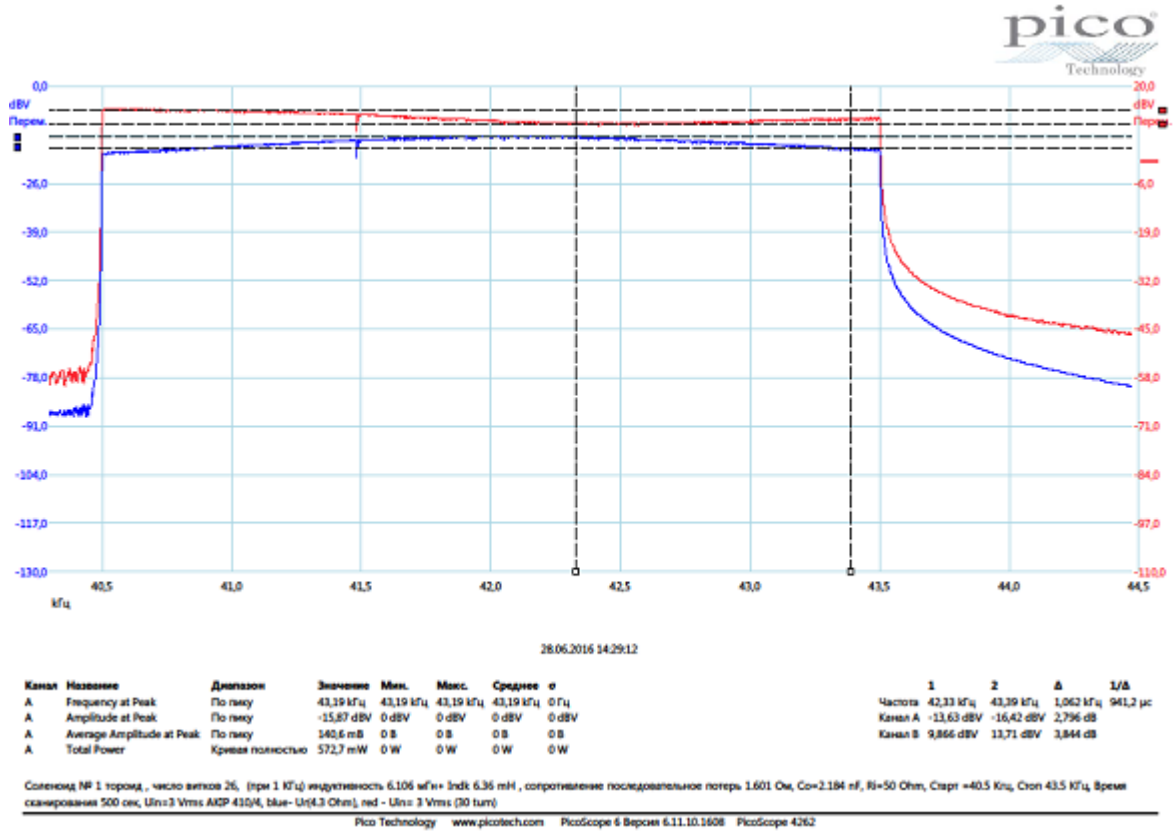


Изо. 4. ***Синим цветом спектральная характеристика напряжение на калиброванном сопротивлении Rt2 (4.3 Ома, 1%) при подсоединении провода модели ЦАП№1 ко вторичному контуру.***

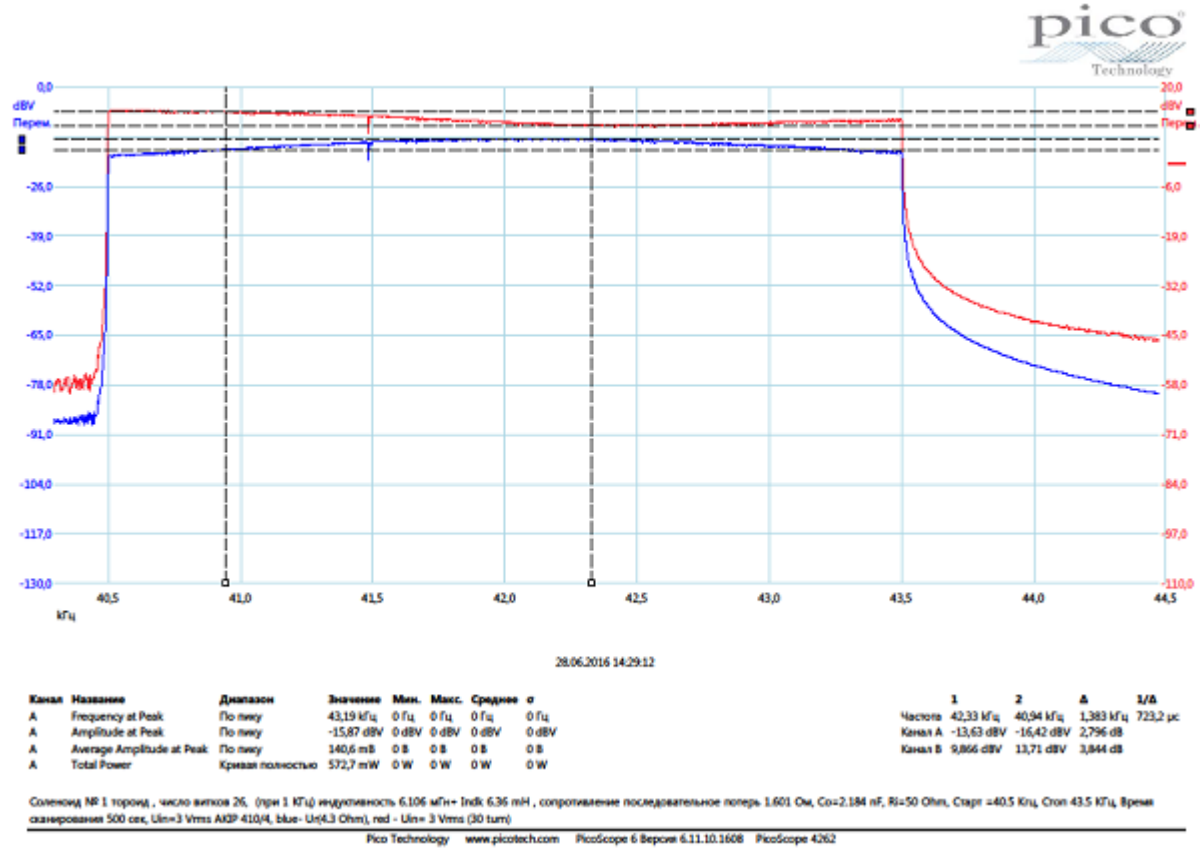


Изо.5. ***Синим цветом спектральная характеристика напряжение на калиброванном***

сопротивлении Rt2 (4.3 Ома, 1%) при подсоединении провода Рамочной антенны ко вторичному контуру.



Изо. 6. ***Синим цветом спектральная характеристика напряжение на калиброванном сопротивлении Rt2 (4.3 Ома, 1%) без подсоединения провода Рамочной антенны ко вторичному контуру.***



Изо. 7. ***Синим цветом спектральная характеристика напряжение на калиброванном***

сопротивлении Rt2 (4.3 Ома, 1%) без подсоединения провода Рамочной антенны ко вторичному контуру.

R_e2 = 4.3 Ом при отсутствии подсоединения провода питания модели антенны **ЦАП№1** ко вторичному контуру с целью определения эффективного значения индуктивности во вторичном контуре, зная значение ёмкости конденсатора С. Затем определяется значение частоты резонанса ***fo2*** при подсоединённом проводе модели **ЦАП№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 ***Рамочной приёмной Антенной ЛАП№1***, либо **Ферритовой Антенной МАП№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 ***fo1 = 42.33 КГц*** и значение полосы пропускания *BW1= 2.48 КГц.*

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

Эффективное значение индуктивности L_{eff} вторичного контура обусловлено лишь значением индуктивности лишь тороида на данной частоте резонанса fo1.

Знание значения полосу пропускания ***BW1***, 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 ***fo1 = 42.33 КГц.*** 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 **ЦАП№1** определяется как $U_{Cm} = U_{moutG} k_{tr} Q$ **(3 - 18).** Так как $U_{m\ outG}$ = 1.41* 3 В = **4.23 В. (3 - 23)**. Поэтому 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 L_{eff} (см. формулу **3 - 7**) и значение величины ёмкости конденсатора **C**

можно получить значение величины собственной ёмкости рассматриваемой модели Цилиндрической Антенны, указанное ранее $C_{эа}[pF]$ **= 56.7 pF.** Поэтому возможно вычислить для значения резонансной частоты ***fo2 = 41.8 КГц спектров Изо.4 и Изо.5. амплитудное значение тока в теле модели ЦАN°1.***

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

Этот пример показывает, что очень трудно получить для диапазона частот СДВ в мало габаритных передающих линейных электрических антеннах типа ЭДГ значительную величину протекаемого по их телу тока в силу невозможности получения для этого типа антенн в диапазоне СДВ достаточно большого значения собственной ёмкости.

3.4 Определение амплитудных значений компонентов $(\vec{E}_\theta, E_\rho, \vec{H}_\varphi)$ ***напряжённостей электромагнитного поля в свободном пространстве (вакууме)*** при значении несущей частоты f_0 **=41.8 КГц** для расстояния **ρ = 1.4 м** при значениях амплитуды тока модели ЦАN°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 f_0 **= 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

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

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

$\alpha D = 1.226\ 10\text{^-}3$ **(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 ***составляющая напряжённости магнитного поля*** $H_{\varphi m}(Iam = 0.0015A, l_e = 0.38м, \theta = 0)$ | ***направлена,*** в соответствии с рисунком Изо.1 ***горизонтально***

б) тогда как ***составляющая электрического поля***

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

направлена вертикально.

в) Видно, на примере теста модели **ЦАN°1**, что ***Передающая Линейная Электрическая Антенна в свободно пространстве "Ближней зоны" создаёт более сильное электрическое поле нежели магнитное поле.***

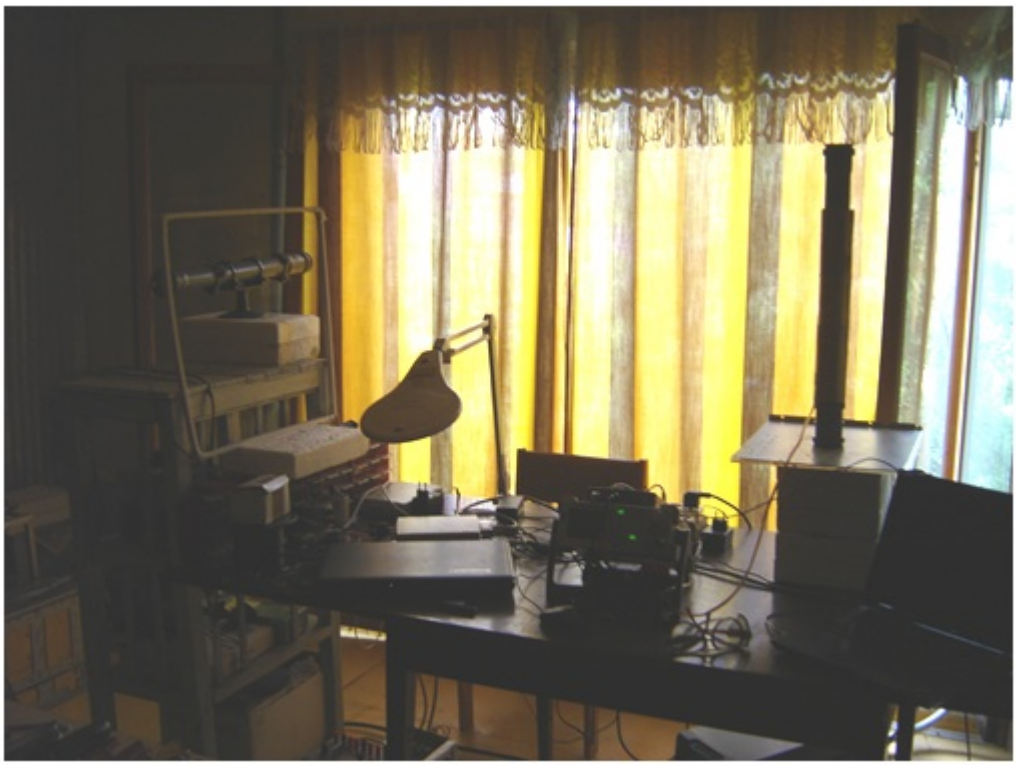
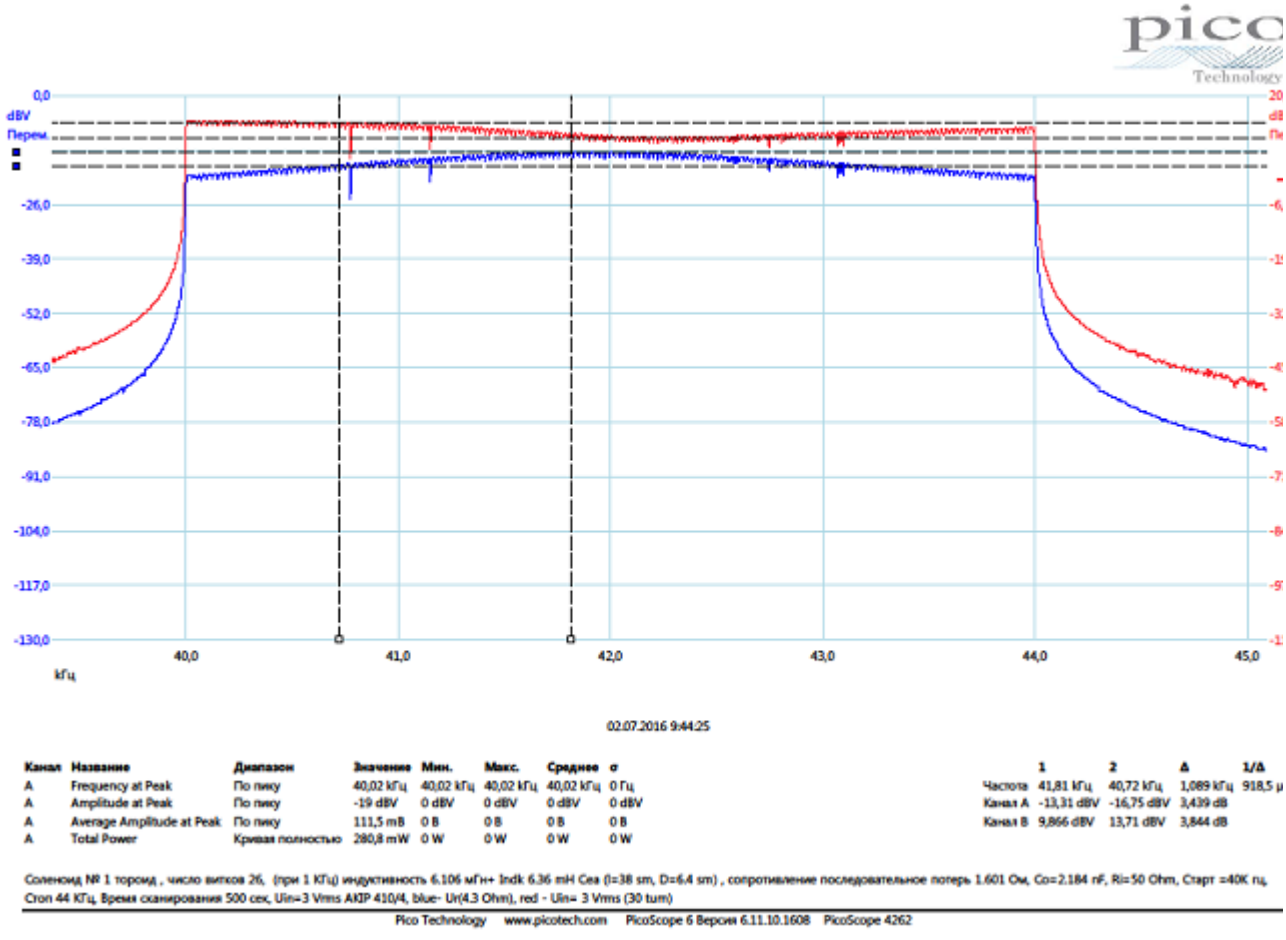
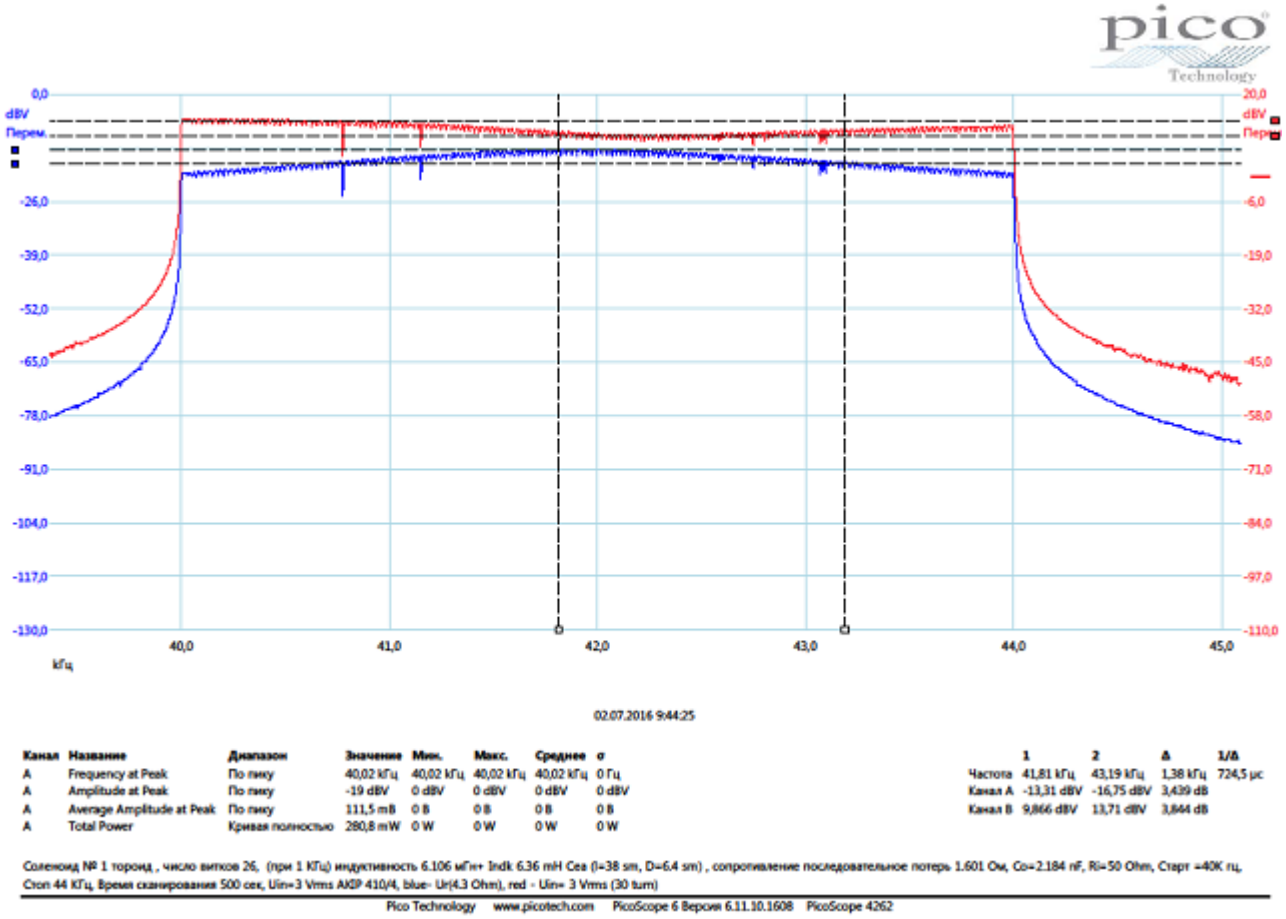


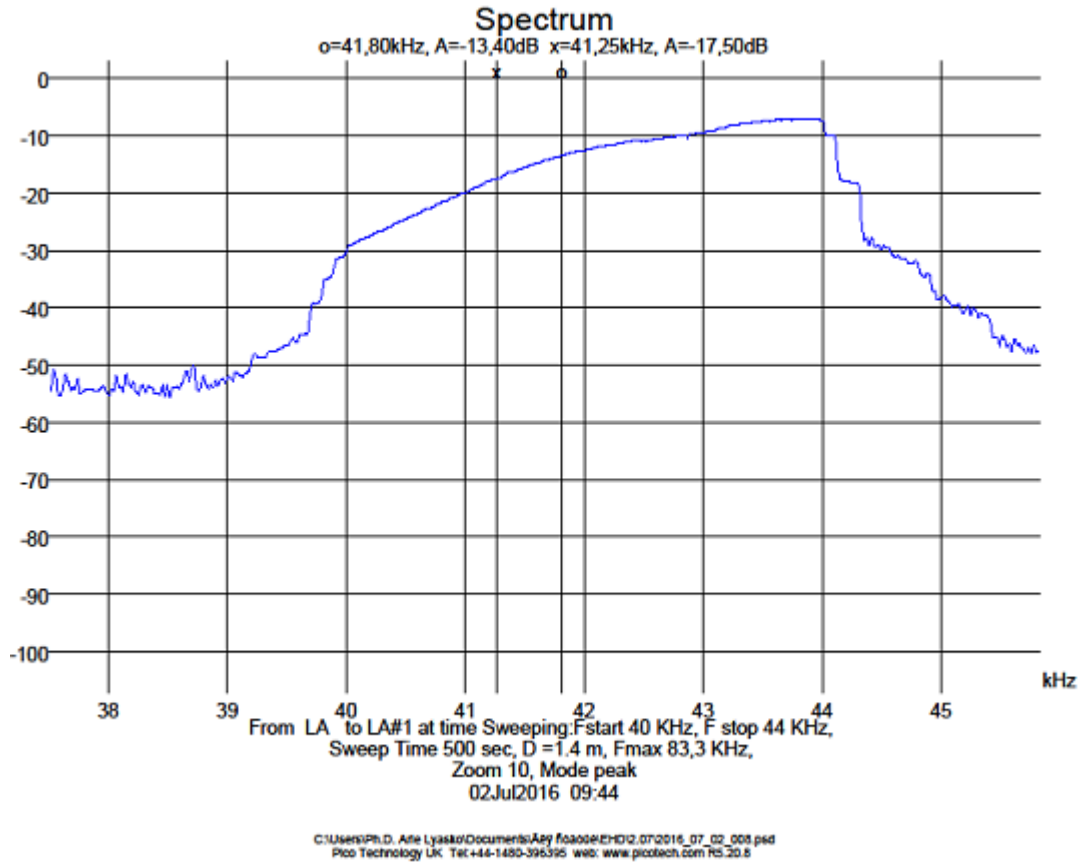
Фото. 4. ***Иллюстрация "геометрии измерения" уровня излучения модели ЦАN№1. Рамочной Антенной ЛАN№1 и моделью Ферритовой антенны МАN№7 на дистанции 1.4 м.***



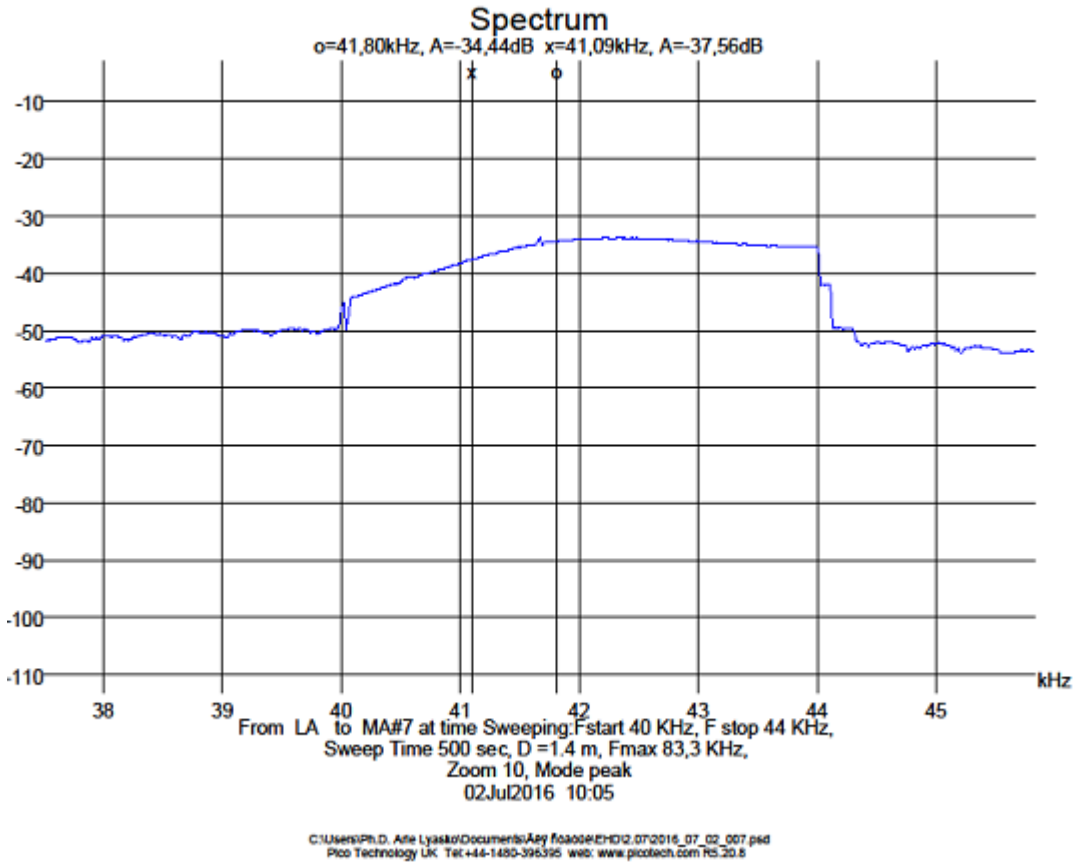
Изо.8. ***Форма спектра $U_{m\ outG}$ - (красного цвета кривая) и U_{Rt2} (синего цвета кривая)***



Изо.9. ***Форма спектра $U_{m\ outG}$ - (красного цвета кривая) и U_{Rt2} (синего цвета кривая)***



Изо.10. ***Спектр выходного сигнала Рамочной Антенны ЛАП№1***



Изо. 11. ***Спектр выходного сигнала Ферритовой Антенны МАN№7***

Одновременно со сканированием в течении ***500 сек***. выходного напряжения Генератора в пределах ***частоты 40 КГц - 44 КГц*** для целей определения ***резонансной частоты fo2 = 41.8 КГц, полосы пропускания BW2= 2.47 КГц и тока в теле моделиЦАN№1 при помощи АЧХ, представленных на Изо.8 и Изо. 9 производилась регистрация напряжений на выходе приёмных Антенн* ЛАN№1 и МАN№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 ***fo2 = 41.8 КГц длина волны λ = 7177м, поэтом*** $H_{эффЛА№1}(41.8КГц)$ = **0.022 м**

В соответствии с **Изо.11** на частоте ***41.8 КГц*** был зарегистрирован уровень сигнала

GLA#1 = - 13.40 dBV (4 - 2), это значит $U_{выхЛАN№1} = 10^{-13.40/20} = 0.214$ В (4 - 3).

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 $ULA\#1_m = H_{эффЛА} \mid E_{em} \mid$: ***=0.23 В. (4 - 4). Это теоретическим путём полученное значение для амплитуды напряжения на выходе пассивной Рамочной Антенны ЛАN№1, изображённой на. Фото.4., хорошо совпадает с экспериментально полученным его значением (4 - 3).***

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

GLA#1 = - 34.44 dBV (4 - 5) на частоте 41.8 КГц , это значит

$$U_{выхмМАN№8} = 10^{--34.44/20} = 0.019\ В \quad (4 - 6).$$

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.