

Что такое ЕН-антенна и как она работает?

Введение.

Радиолюбители всегда отличались своими неутоемыми изысканиями, они всегда ищут лучшую антенну для конкретного места ее установки, будь то поле, горы, водная гладь или жилой дом, и это достаточно сложный вопрос. Ключевым вопросом в этих условиях могут оказаться размеры, эффективность, стоимость, надежность, или полоса пропускания. Нет антенны, которая удовлетворяла бы всем этим критериям одновременно. Все антенны имеют сильные и слабые стороны. Цель данной статьи состоит в том, чтобы дать понятие о том, как же работает ЕН-антенна, что такое диполь сопряженных полей (**ДСП**), что любая антенна, это открытый колебательный контур, который имеет свои характеристики по резонансу, добротности, диаграмме направленности и ширине полосы пропускания.

Излучатель.

Что бы понять до конца, как работает эта антенна, нужно полностью изменить свое представление о работе этого типа антенн и понять, что излучатель этой антенны не укороченный диполь Герца, а открытый конденсатор, который тоже создает электромагнитное поле. Сравнить диполь-провод и диполь-емкость, так же бессмысленно и невежественно, как сравнивать подъемную силу самолета и стратостата. Вспомним, что в среде вокруг проводника, по которому протекает постоянный электрический ток, возникает только **постоянное магнитное поле**, которое не может создать вокруг себя электромагнитное поле.

Для правильного понятия работы емкостного излучателя нужно вспомнить работу электростатического поля. - Если к двум электродам (пластинам), находящимся на определенном расстоянии друг от друга, приложен постоянный электрический потенциал, то в среде между ними и вокруг них возникает только **электростатическое поле**, которое так же не может создать вокруг себя электромагнитное поле.

Задавшись целью создать **электромагнитное поле**, достаточно к проводнику или пластине приложить переменный по знаку электрический потенциал. Только эта цель объединяет эти два совершенно разных излучателя.

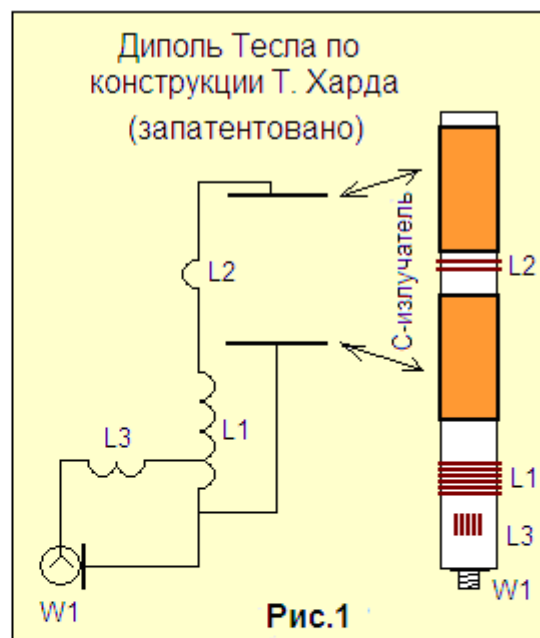
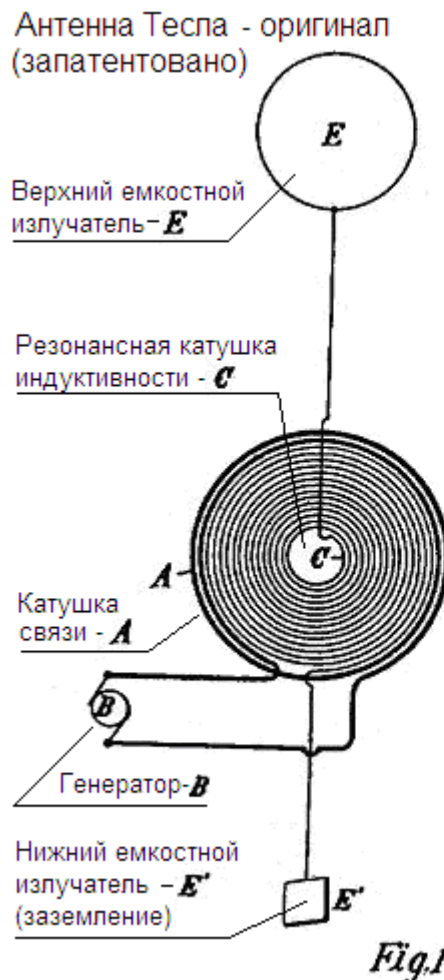
Теперь мы знаем, что переменный по знаку электрический потенциал (переменное напряжение), приложенный к пластине, будет изменять направление и величину напряженности электрического поля между ними, а поле становится электромагнитным, потому что каждое переменное электрическое поле создает электрический ток смещения и закономерно вызывает электромагнитное поле. Вот, основной принцип работы емкостного излучателя по Максвеллу.

Разность потенциалов между излучателями и расстояние их друг от друга, определяют напряженность электромагнитного поля между ними. Напряженность поля выражается в Вольт/метр (**В/м, мВ/м, мкВ/м**). К примеру, если к электродам излучателя, находящимся друг от друга на расстоянии **0,1м** приложить напряжение в **100В**, то напряженность поля между ними составит **1000В**. Если эти электроды размещены на расстоянии **0,2 м**, то напряженность поля между ними составит всего **500В**. Это один из принципов работы емкостного излучателя и как мы видим, ни чего общего с диполем Герца здесь нет. Теперь мы имеем начальное представление о работе емкостного излучателя, что может стать определяющим направлением конструкции емкостного диполя и его размеров.

Возвращаясь к истокам открытого колебательного контура Максвелла, Никола Тесла решил задачу излучения электромагнитной волны другим путем. Если Генрих Герц вытянул витки в длинный провод, то Никола Тесла создал развитый элемент связи со средой не вытягиванием провода, а при помощи объемного емкостного излучателя, как это было в первых опытах Максвелла. Точно так же решил эту задачу наш современник Тэд Хард.

Конструкция антенны Т.Харда, это диполь Тесла.

Стоит ли,шний раз утверждать, что ЕН-антенна конструкции Т. Харда, см. Рис.1, это копия оригинала антенны Тесла, см. Fig.1. Тот же резонансный контур, тот же емкостной излучатель с катушкой индуктивности и катушкой связи. Антенна Тесла напоминает первый автомобиль **Ford**, а антенна Т. Харда, - последнюю модель **Ford-Focus**. Да, действительно Тед до максимума отработал конструктив антенны так, что бы он был легко повторяемым, как для начинающих радиолюбителей, так и для промышленного производства. Тем не менее, справедливости ради, автор данной статьи склонен называть эту антенну диполем Тесла с конструктивом Т. Харда. Думаю трудно недооценить, как заслуги Г.Форда, так и заслуги великого изобретателя начала 20-го века Н.Тесла?



*Nikola Tesla Inventor
by Ken. Page & Co. Attys*

Основой несущей конструкции инженера Т. Харда служит недорогая пластиковая труба с хорошими изоляционными характеристиками. Фольга в виде цилиндров плотно облегает ее, тем самым формируя излучатели антенны с небольшой емкостью. Индуктивность $L1$ образованного последовательного колебательного контура располагается за апертурой излучателя. Катушка индуктивности $L2$, расположенная в центре излучателя компенсирует противофазное и вредное излучение катушки $L1$. Разъем питания антенны (от генератора) $W1$ располагается внизу, это удобно для подключения фидера питания, уходящего вниз.

В данной конструкции настройка антенны производится двумя элементами, $L1$ и $L3$. Методом подбора витков катушки $L1$, антенна настраивается в режим последовательного резонанса по максимуму излучения, где антенна приобретает емкостной характер. Отвод от катушки индуктивности определяет входное сопротивление антенны и наличие у радиолюбителя фидера с волновым сопротивлением на 75 или 50 Ом. Подбором отвода от катушки $L1$ можно добиться $KCB = 1,2-1,5$. Катушкой индуктивности $L3$ добиваются компенсации с емкостного характера антенны, по входному сопротивлению антенны и $KCB=1,05-1,1$. Антенна принимает активный характер. Что бы понять до конца, как же нужно настраивать эту антенну, нужно подробнее изучить ее теорию и принцип действия диполя Тесла.

Примечание: Катушки $L1$ и $L2$ намотаны в разные стороны, а катушки $L1$ и $L3$ перпендикулярны друг другу для уменьшения взаимного влияния.

Рассмотрим принцип действия диполя Тесла.

Анализируя работу такой антенны, нужно рассматривать ее с разных позиций, как:

1. Работа последовательного колебательного контура (ПКК) со стороны генератора;
2. Питание контура и работа излучателя;
3. Работа емкостного излучателя со стороны среды.

1. Работа последовательного колебательного контура (ПКК) со стороны генератора.

На рис.2а изображена эквивалентная схема последовательного резонансного контура с учетом омических потерь R_k , подключенного к идеальному генератору гармонического напряжения с амплитудой U . Очевидно, что на резонансной частоте, когда величины реактивных сопротивлений катушки XL и конденсатора $-XC$ равны по модулю, реактивная величина обращается в ноль, но фазы их противоположны. Действительно, напряжение на катушке UL опережает ток на 90° , а напряжение на конденсаторе UC отстает от тока на 90° . Ясно, что между этими напряжениями сдвиг фаз равен 180° (Рис.2б). Следовательно,

сопротивление в цепи чисто активное, а ток в цепи определяется отношением амплитуды напряжения генератора к сопротивлению омических потерь: $I = U/r$. При этом на катушке и на конденсаторе, в которых запасена реактивная электроэнергия, падает одинаковое напряжение $U_L = U_C = I|X_L| = I|X_C|$.

Резонанс в последовательном колебательном контуре принято называть резонансом напряжений. Резонансной частотой последовательного колебательного контура называют такую частоту, на которой сопротивление контура имеет чисто активный (резистивный) характер.

На (рис.2в) изображен график изменения полного сопротивления контура Z и тока $I_{\text{конт.}}$ при изменении частоты генератора f . Таким образом, напряжение генератора U равно падению напряжения на активном сопротивлении R_k .



Рис. 2

При резонансе напряжений, ток в контуре увеличивается. На индуктивном и емкостном сопротивлениях создается высокое напряжение, значительно превышающее напряжение генератора.

И действительно, если к контуру приложить напряжение $U = 100\text{В}$, то напряжение на пластинах излучателя U_2 с учетом добротности контура $Q=26$ будет выглядеть согласно следующей формуле:

$$U_2 = Q * U, \text{ где } U \text{ напряжение на входе контура.}$$

Согласно скромным расчетам U_2 может составлять **2600В!**

При расстройке контура выше или ниже по частоте на уровне **0,707**, фазы отличаются друг от друга на **45** градусов, что часто применяется в фазоинверторах многих электронных устройств. Данное свойство так же используется для точной настройки **LC**- элементов и совмещения по фазе напряжения и тока в диполе Тесла.

2. Питание контура и работа излучателя.

Мы знаем, что диполь Тесла это последовательный колебательный контур (**ПКК**), где емкость C является открытым элементом связи со средой, участвующем в излучении. Индуктивность L участвует только в резонансе (рис. 3а). Кроме того, ее участие в излучении категорически не приемлемо, т.к. мы знаем, что напряжение на индуктивности противофазно на **180** градусов напряжению емкости образованного контура.

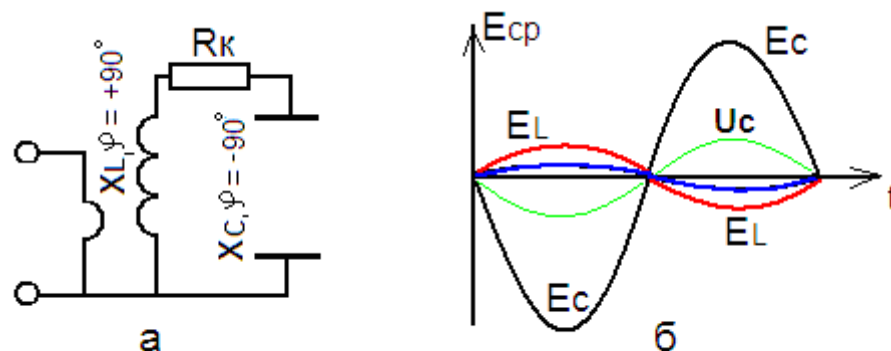


Рис. 3

Но напряжение, приложенное к пластинам излучателя U_c (зеленая кривая, см. Рис.3б), это еще не напряженность поля среды вокруг излучателя.

Напряженность поля излучения E_c , сосредоточенная в электрическом поле излучателя, без учета расстояния между пластинами равна:

$E_c = (CU^2 / 2) - E_L$, где: **C** — ёмкость конденсатора.
U — максимальное значение напряжения на пластинах конденсатора.
E_L — напряженность поля излучения катушкой индуктивности.

Из приведенной формулы ясно, что напряженность поля среды **E_c** в данной антенне прямо пропорционально емкости открытого конденсатора умноженное на квадрат приложенного напряжения, минус напряженность противофазного поля **E_L** (рис.36). Напряжение емкостного излучателя антенны может составлять десятки и сотни киловольт, что немаловажно для рассматриваемого излучателя. Здесь прослеживается полное подтверждение работы резонансного трансформатора Тесла как антенны, ведь вокруг излучателя трансформатора Тесла наблюдаются нимбы и коронное свечение. Особенно это наблюдается при большой подводимой мощности или очень маленьких размеров диполя Тесла по отношению к длине волны. Подобное свечение вокруг излучателя диполя Тесла создаются за счет содержания в земной атмосфере газов, способствующих этому, ровно как свечение газа в неоновой лампе при напряжении между электродами всего в **50-60 В**.

Исходя из теории работы последовательного колебательного контура, размещение и конструкция катушки индуктивности **L** в конструктиве Т. Харда играет не маловажную роль. Если разместить ее между электродами излучателя **C** (рис.4а), а энергия излучения катушки **L** противофазна энергии излучения емкостного излучателя **C**, то общая энергия излучения будет вычитаться, а при развитой одновитковой катушке будет стремиться к нулю. Противофазная напряженность **E_L** показана на графике, см. рис.36 красной линией. По этому катушку индуктивности строят с максимальным применением мероприятий по устранению ее излучения. Размещение катушки индуктивности **L** за апертурой излучателя **C**, дает более положительные результаты (рис.4б), что так же отмечено на графике рис.36 синей линией.

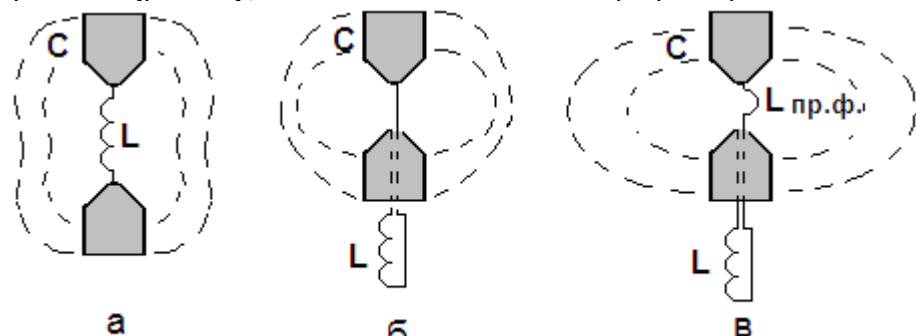


Рис. 4

Значительное устранение влияния катушки индуктивности на излучатель возможно введением в центр аперттуры излучения противофазной катушки индуктивности **L пр.ф.** (рис.4в) или катушки фазовой компенсации. Обычно эта катушка составляет четвертую часть витков, намотанных в противоположном направлении относительно катушки **L**. Так сделал Тед Хард (катушка **L2**, рис.1) в предложенной им конструкции ЕН- антенны.

3. Работа емкостного излучателя со стороны среды.

И так, мы имеем ПКК с емкостным излучателем, в который необходимо вкладывать максимальную энергию излучения. Потери на сопротивлении среды **R_{ср.}** это потери на излучение. При идеальной настройке ПКК в резонанс напряжений, реактивные элементы становятся равны друг другу. Токи и напряжения в цепи приобретают характер как на графике рис.26.

Поскольку индуктивность искусственным путем не должна участвовать в излучении, далее в графиках мы будем рассматривать только работу емкостного излучателя. Размеры излучателя по отношению к длине волны и элементы реактивного характера настолько малы, что ими можно пренебречь и излучатель можно рассматривать как активный элемент, имеющий связь со средой. По этому при появлении на клеммах излучателя потенциала **U_с**, ток смещения **I_{см.}** в среде появляется без задержки по фазе, как это происходит в диполе Герца. В силу вступают законы электромагнитной волны по Максвеллу, где каждый электрический ток в среде вызывает сопряженное электромагнитное поле (рис.5). С этого момента можно дать определение емкостному диполю, как диполю сопряженных полей (**ДСП**) и поставить знак равенства между диполем Тесла и ДСП! Но амплитуда **I_{см.}** еще мала, т.к. ток контура **I_{к.}** опережает ток смещения на **90** градусов. Здесь процесс настройки ДСП еще не завершен, т.к. распределение мощностей не достигнуто до необходимого уровня, ровно как не достигнуто максимальное излучение. Используя возможность фазирования контура методом настройки **LC** –элементов, необходимо настроить контур так, что бы он приобретал емкостной характер

(осторожно сдвигая резонанс вниз по частоте), а фаза E_c и I_{cm} максимально приближались к фазе тока контура I_k .

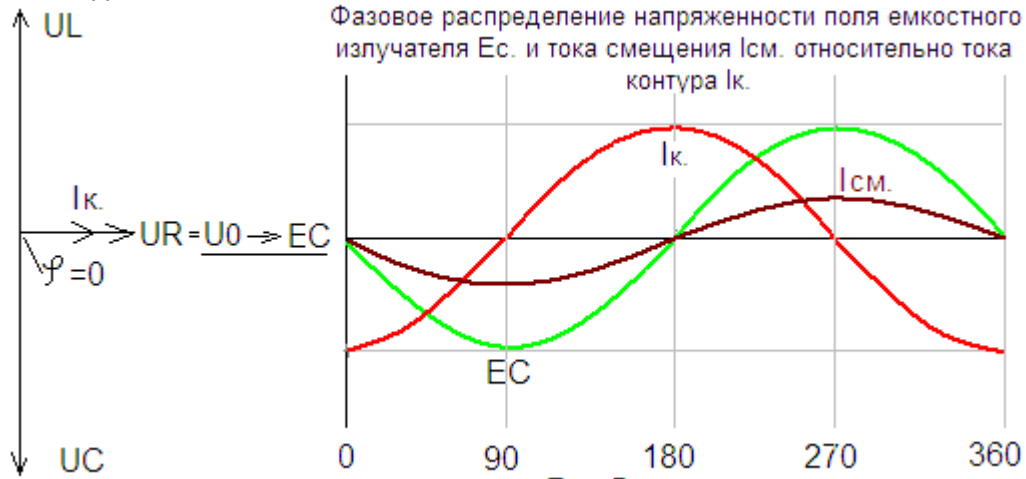


Рис.5

Рассматривая задачу настройки диполя Тесла на максимальное излучение, можно подойти к этому вопросу тремя путями:

- настройкой катушкой индуктивности;
- настройкой емкостью излучателя;
- изменением частоты генератора.

Используя любой из этих путей или решая эту задачу комплексно, напряжение U_0 на излучателе согласно векторной диаграмме, см. Рис.6, резко увеличивается, а вместе с ней и напряженность поля E_c по графику, рис.6.

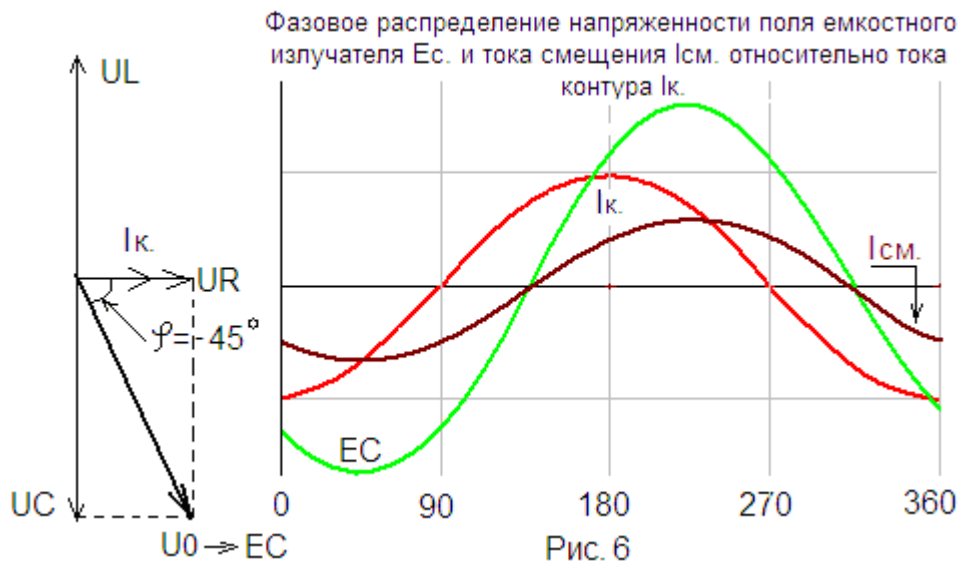
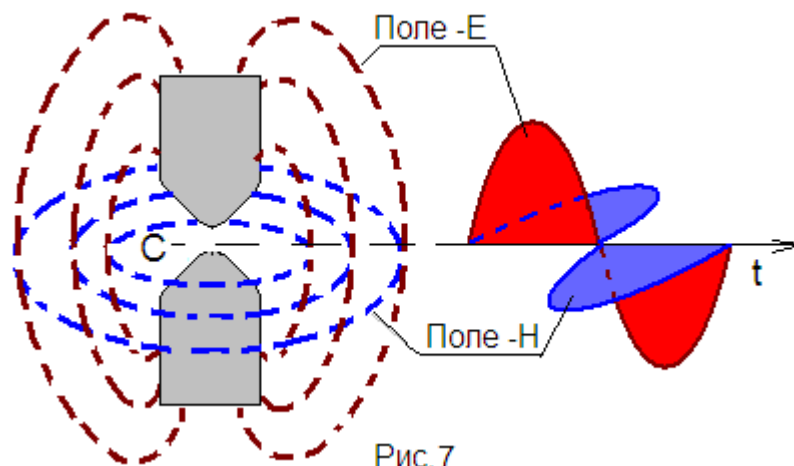


Рис. 6

Благодаря этому в среде между элементами излучателя диполя Тесла создаются мощное синфазное электромагнитное EH поле. Этот процесс можно считать завершающей фазой настройки диполя, если не учитывать компенсацию емкостного характера антенны индуктивностью L_3 , см. Рис.1. Здесь поля взаимно перпендикулярны и синфазны уже в ближней зоне антенны (рис.7).



Этот тип антенны имеет небольшую емкость и достаточно большое L/C соотношение. Мощность излучения такой антенны в непосредственной близости выше диполя Герца примерно на **30** дБ и являются сосредоточенной. В дальней зоне общая излучаемая мощность антенны, должна быть такой же, как у диполя Герца. Подобное явление на уровне волновой теории можно сравнить с осветительными лампами. К примеру, лампу мощностью **40** Вт можно считать как излучатель с концентрированным полем. Ее можно приравнять к диполю Тесла. В свою очередь длинную гирлянду с той же излучаемой мощностью, где каждая из ста ламп излучает всего по **0,4** Вт, можно приравнять к диполю Герца, и здесь нет ни каких противоречий.

В антенне, разработанной Тедом Хардом, уровень излучения чуть ниже, чем у диполя Герца. Это связано с тем, что емкостной излучатель еще не до конца исчерпал своих конструктивных возможностей, но имеет большую перспективу в своем развитии.

Подводя итог, мы можем сказать, что емкостной излучатель диполя Тесла, создает вокруг себя мощное и концентрированное электромагнитное излучение. Диполь Тесла обладает особенностью накопления энергии, что характерно последовательному LC - контуру, где суммарное выходное напряжение значительно превосходит входное, что наглядно видно по результатам простых расчетов. Данное свойство давно практикуют в промышленных радио-устройствах с большим входным сопротивлением. Таким образом, мы можем сделать следующий вывод:

Диполь Тесла — это открытый колебательный контур, где емкость - C , это конденсатор, который является открытым элементом (в виде сфер, конусов или цилиндров), осуществляющим связь со средой. Индуктивность L является лишь резонансным элементом, не участвующим в излучении. Это диполь сопряженных полей (ДСП).

Заключение.

На практике, вплоть до **50-60х** годов прошлого столетия, такие антенны применялись в войсковой радиосвязи многих развитых стран мира (СССР, США, ФРГ, Франции, и Великобритании) и по непонятным причинам были забыты. Чаще всего они использовались как антенны зенитного излучения (АЗИ) на мобильных объектах КВ радиосвязи и кое - где их можно встретить в службах обеспечения связи гражданских аэропортов в секторе списанного оборудования, и это не блеф. Особенно запоминаемым был тот факт, когда подобную антенну успешно применял для своих радиообменов оператор незаконно действующего передатчика (НДП) на юге Тюменской области с позывным радиосигнала «Катерина» в **1978-93** годах.

ДСП может быть использован, как временная антенна городского радиолюбителя с ограниченным бюджетом или возможностями. Антенна для туризма и экспедиций. Антенна имеет принцип работы, основанный на классической теории, но требует некоторой теоретической подготовки.

Дуэт из двух и более одинаковых антенн с легкостью может быть преобразован в направленную антенную систему, но питание отдельных элементов его должно быть только активным. Для увеличения эффективности излучающих элементов, стоит обратить свой взор на статический излучатель Чижевского и все встанет на свои места. В обиходе автора статьи, эта антенна имеет название «Кактус». ДСП только технологически сложнее диполя Герца, но значительно меньше его по размерам. Это не кусок провода, который можно отмерять рулеткой и забросить на ближайший высоко стоящий объект. Это хорошо выверенный четырехполюсник с LC элементами со стороны фидера и C -излучатель со стороны среды. В связи с выше сказанным, диполь Тесла по праву занимает одну нишу с диполем Герца, но условия их применения разнятся, как использование разных инструментов, предназначенных для выполнения одной и той же задачи, - где-то требуется использовать острый топор, а где-то ножовку...

73! UA9LBG / «Радио-Вектор-Тюмень» - Сушко Сергей.