

# Антенны перекрещенных полей или проигранный бой профессора Хатли

В.К. Федоров, г. Липецк

С момента осуществления первого сеанса беспроводной электросвязи прошло уже более ста лет. За это время аппаратура для приема и передачи сообщений через воздушное и безвоздушное пространство непрерывно совершенствовалась и модернизировалась. Было внедрено множество изобретений, усовершенствованных различных части и узлы передатчиков и приемников эфирной связи. Несомненно, не были обделены вниманием и антенны, которые являются одним из важнейших элементов аппаратуры связи.

Прародителем всех современных антенн, как известно из теории, является вибратор Генриха Герца, использовавшего его в своих опытах по исследованию электромагнитных (ЭМ) волн в 1888 г. Принципы формирования ЭМ волн с помощью «вибратора Герца» предельно просты и легко описываются дифференциальными уравнениями Максвелла, лежащими в основе электродинамики, являющейся классической. На основе «вибратора Герца» созданы несколько классов антенн, работа которых может быть описана исходя из основы антенной теории — модели полуволнового вибратора. Безусловно, то, что вновь создаваемые антенны также подчиняются классическим законам электродинамики, открытым Гауссом, Фарадеем и дополненным и объединенным Максвеллом задолго до опытов Герца, Лебедева, Попова и Маркони.

В марте 1989 г. появилась публикация [1], описывающая, по словам авторов, принципиально новый метод формирования ЭМ волн. В указанной публикации приводилось описание конструкции антенны, принцип работы которой был основан на этом методе. Данной статьей обеспечивалось продвижение патента [2] Соединенного Королевства, выданного профессору относительно неизвестного колледжа и его студенту. В данной ситуации интриговало то, что, по словам авторов-патентообладателей, в представленной ими конструкции был заложен новый принцип формирования ЭМ волн. Одновременно с этим указывалось на чрезвычайно малые размеры «антенны перекрещенных полей» (или CFA-антенны) по сравнению с рабочими длинами волн ( $\lambda/200$ ).

Последний факт очень заинтересовал коротковолнников, поскольку заманчиво иметь малогабаритную антенну для проведения радиосвязей в эфире, особенно в условиях крупных городов. Логично предположить, что при конструировании подобных антенн снижаются производственные расходы на их изготовление. И, несмотря на весьма отрицательные высказывания физиков-теоретиков и высококвалифицированных инженеров радиосвязи, многие радиолюбители изготовили и опробовали на практике CFA-антенну. В частности, группа любителей под руководством Брайана Уэллса изготовила CFA-антенну [3, 4] и сообщила о ее великолепной работе.

Патентообладатели CFA-антенны отказались публиковать дополнительную информацию о ней, вероятно, для того чтобы скрыть всю нелепость подведенной теоретической базы, якобы лежащей в основе ее работы. Профессионалы сразу же отказались от использования CFA-антенн ввиду их действительной неэффективности [5]. Но, к сожалению, идеями конструирования CFA-антенн заразились в большинстве случаев теоретически малограмотные (к великому сожалению) коротковолнники. В результате на свет появились удивительные антенны-мутанты (EH, Super-C) с не менее поразительным теоретическим обоснованием принципов их работы. Конструированием подобных антенн занялись также и отечественные радиолюбители, попы-

тавшиеся на практике проверить достоинства CFA и им подобных антенн. В [6] опубликован переведенный материал, взятый из зарубежных публикаций, который, к сожалению, не претендует на право быть названным аналитическим.

В истории физики возникали случаи недобросовестной публикации результатов различных физических опытов (например, провалившаяся теория «холодного» ядерного синтеза Флейшмана и Понса). Разрабатываются всевозможные устройства типа стиральных ультразвуковых машинок или теплогенераторов. Данные действия совершались по разным причинам, и, в первую очередь, в целях саморекламы. Причем страдают от подобных действий, прежде всего, «практики», слепо подчиняющиеся руководству людей, имеющих «ученую степень» и якобы «несомненный авторитет».

После ознакомления с материалами статьи [1], автор весьма негативно отнесся к факту искажения основ электродинамики. Теоретически было предельно ясно, что CFA антенна представляет собой систему, состоящую из двух антенн. Коммерциализация CFA проекта в начале нынешнего века привела к тому, что в продаже стали появляться различные модификации CFA антенн, имеющих практически весьма низкие технико-эксплуатационные характеристики, далекие от заявляемых производителями. Автором был проведен ряд практических опытов по детальному изучению принципов работы CFA антенн и их производных. Результатом стали выводы о том, что ничего нового в принципах работы указанных антенн нет, а их характеристики оставляют желать лучшего.

В настоящее время наблюдается очередная активизация сторонников «нетрадиционных» антенн, поэтому предлагаю ознакомиться с истинным положением дел и сделать соответствующие выводы о целесообразности их изготовления и эксплуатации.

Для начала детально разберем принцип работы CFA антенны с точки зрения теории. Для радиолюбителей, не имеющих представления о таких физических понятиях, как векторы магнитной индукции и электрического поля и т.д. советую обратиться к [8], иначе они никогда не смогут понять, что утверждения о «принципиально новом методе формирования ЭМ волн» в CFA антенне не имеют никакого практического обоснования.

Классическая электродинамика основывается на уравнениях Максвелла. Из четырех уравнений Максвелла наиболее важны два, физическая суть которых очень проста. Первое уравнение гласит, что изменяющийся во времени вектор магнитной индукции  $B$  образует электрическое поле напряженностью  $E$ , а из другого уравнения следует, что ток проводимости или изменяющийся во времени вектор электрического смещения  $D$  может образовать магнитное поле напряженностью  $H$ . Таким образом, Максвелл объединил вместе законы Гаусса, Ленца и Фарадея.

Следствием уравнений Максвелла является тот факт, что изменяющееся во времени электрическое поле порождает магнитное, а то, в свою очередь, — электрическое. Существование изменяющегося магнитного поля без электрического невозможно, так же как и существование электрического изменяющегося поля без магнитного. Применительно к «вибратору Герца» следствия из уравнений Максвелла можно описать в упрощенном виде следующим образом. Предположим, что мы приложим к вибратору некоторое радиочастотное напряжение. Поскольку вибратор имеет некое конечное волновое сопротивление, через него потечет электрический ток, неизбежно создающий изменяющееся магнитное поле. Кроме того, приложенное к вибратору





переменное напряжение создаст возле вибратора переменное электрическое поле. Переменные магнитное и электрическое поля создадут, соответственно, электрическое и магнитное поля, которые будут уже свободными. Таким образом, участки полей, непрерывно трансформирующиеся из магнитного в электрическое и обратно, покидают излучающий вибратор и свободно перемещаются в пространстве со скоростью света.

Исходя из сделанного вывода, рассмотрим процесс формирования ЭМ волн CFA антенной. Авторы [1] указывают, что CFA антенна формирует независимо электрическую и магнитную составляющую ЭМ волны, которые, складываясь в пространстве, образуют, согласно уравнению Пойнтинга  $S = E \times H$ , результирующую ЭМволну.

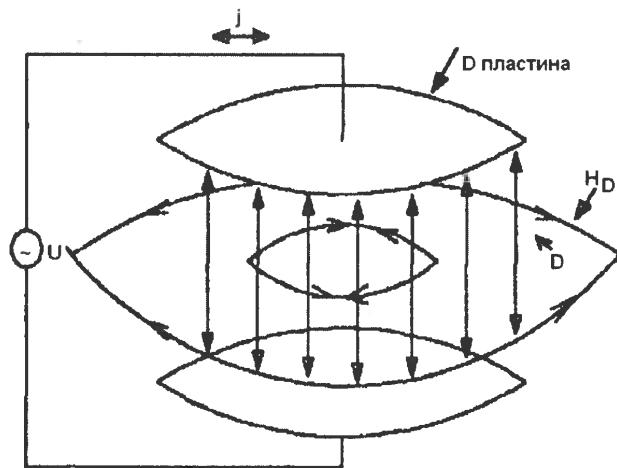
Как следует из приведенных выкладок, CFA антенна должна, безусловно, иметь два независимых источника полей; один формирующий магнитное поле, другой – электрическое. Начнем с источника магнитного поля. В [1] правильно указывается, что возможно формирование магнитного поля с помощью двух пластин (см. рисунок), представляющих собой конденсатор больших размеров. Пластины получили наименование D пластин.

Проанализируем процесс образования магнитного поля. Допустим, мы прикладываем к пластинам синусоидальное напряжение  $U$ . При этом через пластины будет протекать некий ток, называемый током проводимости  $j$  (ввиду того, что свободные заряды вытекают из одной обкладки импровизированного конденсатора и передвигаются к другой). Поскольку к D пластинам прикладывается переменное напряжение, направление  $j$  периодически изменяется. Поэтому, в отличие от [1], на рисунке направления движения токов указаны в обоих направлениях. Ввиду того, что электрическое смещение в зазоре конденсатора равно поверхностной плотности заряда на обкладках, плотность тока проводимости в обкладках равна плотности тока смещения в зазоре D пластин. Следовательно, равенство этих плотностей приводит к тому, что на границе D пластин линии тока проводимости непрерывно переходят в линии тока смещения  $D$ , а линии полного тока остаются замкнутыми.

Авторы [1] указывают, что условиями существования D является наличие линий E, однако, в силу вышесказанного, это не так. Ток смещения возникает в пластинах D лишь при наличии тока проводимости  $J$ , периодически изменяющего свое направление. В конечном счете, протекающий в D пластинах ток смещения, изменяющийся по синусоидальному закону, создаст синусоидальное магнитное поле  $H_D$ . Если мы применим правило Био-Савара к геометрии пластин, то будем иметь круговое магнитное поле.

К сожалению, в работе [1] описание процессов, происходящих в пластинах D, на этом заканчивается, и авторы переходят к описанию опытов, подтверждающих наличие магнитного поля около D пластин. Применим к данному случаю вывод, сделанный выше. Кроме создаваемого магнитного поля, D пластины создают сильное электрическое поле с вектором напряженности E, которое будет динамически меняться во времени.

Таким образом, D пластины будут создавать связанные поля (появляющиеся и исчезающие вместе с зарядами и током D пластин). А поскольку формируемые электрическое и магнитное поля будут изменяться во времени, согласно уравнениям Максвелла, изменяющаяся магнитная составляющая связанного поля вызовет в его окрестности электрическое поле, а электрическое вызовет магнитное. Вновь образованные поля будут уже свободными и также будут трансформироваться в соответствующие поля, т.е. возникнет типичная ЭМ волна, распространяющаяся в пространстве со скоростью света. Следовательно, можно утверждать, что если бы формируемые D пластинами переменные магнитные и электрические поля не производили ЭМ волну, то данный факт свидетельствовал бы о несостоятельности теории Максвелла.



Отсюда следует важный вывод: D пластины CFA антенны являются ничем иным, как антенной, излучающей независимую ЭМ волну. Анализируя рисунок, можно сделать вывод, что ЭМ волны, излучаемые D пластинами, будут вертикально поляризованными.

Электрическое поле CFA антенны формируется, по словам авторов [1], E пластинами, представляющими собой два цилиндра. По мнению авторов CFA антенны, E пластины аналогичны плечам диполя («вибратора Герца»), однако они имеют размеры во много раз меньше рабочих длин волн.

E пластины, несомненно, помимо электрического поля, создают и магнитное. Это происходит потому, что напряжение, приложенное к цилиндрам, создает ток проводимости  $j$  и равный ему ток смещения, линии которого будут соединять края этих цилиндров. Таким образом, E пластины создадут магнитное поле. Связанные электрическое и магнитное поля образуют соответствующие свободные поля, распространяющиеся в пространстве и образующие независимую ЭМ волну, имеющую вертикальную поляризацию. Выбранная геометрия расположения E и D пластин позволяет сделать вывод о том, что ЭМ волна, формируемая E пластинами, будет иметь меньшую интенсивность, чем ЭМ волна, сформированная H пластинами.

Чтобы практически подтвердить сделанные выводы, был проведен ряд опытов с CFA антенной, описанной в [3, 4]. Вначале были изготовлены симметрирующе-согласующее устройство (ССУ) и D пластины. Параметры ССУ были изменены таким образом, чтобы обеспечить оптимальное согласование CFA антенны на частоте 37 МГц. Выход на E пластины был подключен к нагрузочному резистору (E пластины на макетной конструкции не монтировались). На вход ССУ подавался синусоидальный сигнал частотой 37 МГц и амплитудой 20 В на сопротивлении нагрузки 50 Ом. Прием велся на петлю [1], подключенную к осциллографу с полосой пропускания до 120 МГц. Принимаемый сигнал успешно детектировался в различных направлениях от источника на расстоянии 50 м от D пластин с примерно одинаковой амплитудой.

Соответственно, был сделан вывод о факте приема магнитного поля (как было сообщено в [1]). Для того чтобы доказать, что принимаемое магнитное поле является составной частью ЭМ волны, излучаемой D пластинами, была собрана антенна, принимающая электрическую составляющую ЭМ волны. Она представляет собой четвертьволновой вертикальный штырь, оснащенный собственным ССУ. Как и следовало ожидать, сигнал был зарегистрирован на расстоянии 50 м от D пластин в нескольких направлениях от источника ЭМ волны. Таким образом, практически был доказан факт излучения ЭМ волны D пластинами CFA антенны.

В дальнейшем D пластины были демонтированы с конструкции CFA антенны, и были установлены E пластины, подключенные к ССУ. Выход на D пластины был подключен к нагрузочному резистору. Измерения проводились с помощью петли и штыря. Также были зафиксированы факты приема магнитной и электри-



ческой составляющих на расстоянии 50 м от Е пластин в различных направлениях от источника ЭМ волны.

Сравнение уровней принимаемых электрических и магнитных компонентов ЭМ волн, формируемых D и Е пластинами, показало, что Е пластины формируют более слабую ЭМ волну, нежели D пластины. Как следствие, из проведенных расчетов и опытов был сделан вывод, что CFA антенна не является, как это указано в [1, 6], устройством, работающим по принципам, отличных от классических и описываемых стандартными законами электродинамики.

CFA антенна представляет собой систему из двух антенн, запитываемых независимо друг от друга. Наличие в подобной системе двух антенн, рабочие поверхности которых существенно укорочены относительно рабочих частот, делает процесс настройки CFA антенны весьма сложным. Высокая проводимость, необходимость совмещения фазовых центров требуют точной установки амплитуд и фаз колебаний, запитывающих пластины Е и D, поэтому необходимо точное изготовление ССУ с его последующей настройкой. Необходимость установки ССУ, согласующих и настроечных цепей увеличивает потери в фидерном устройстве. К тому же, явно заниженные по сравнению с рабочими частотами геометрические размеры CFA антенны делают КПД CFA антенны во много раз ниже, чем у полноразмерного полуволнового диполя.

Был проведен следующий опыт. На макетном конструктиве CFA антенны были установлены Е и D пластины. Через настроенное ССУ подавался сигнал частотой 37 МГц и амплитудой 20 В на сопротивлении нагрузки 50 Ом. С помощью четвертьволнового штыря, подключенного к милливольтметру переменного напряжения, была измерена напряженность электрического поля на расстоянии 50 м от CFA антенны. После этого CFA антенна была заменена четвертьволновым штырем с соответствующим ССУ и также была измерена напряженность электрического поля на расстоянии 50 м от излучающей антенны. Сравнение полученных результатов дало приблизительно равные величины напряженности, хотя по расчетным данным ожидался выигрыш в случае CFA антенны, как минимум, в 2 раза. Логично предположить, что с уменьшением рабочей частоты возрастут потери в ССУ, эффективная излучающая поверхность антенны уменьшится, а КПД снизится.

Отсюда можно сделать главный вывод: CFA антенна является системой из двух антенн, причем эффективность ее работы зависит от геометрических размеров. При размерах CFA антенны, соизмеримых с длиной волны, на которой она работает, возможна ее эффективная работа. Например, CFA антенну можно использовать на любительских диапазонах 10, 14 и 20 м. На более низких частотах эффективность CFA антенны, имеющей, например, высоту 10 м, плавно снижается, а КПД такой антенны в диапазоне 160 м составляет 12% при условии оптимальной настройки ССУ.

Впоследствии подверглась тестированию модифицированная CFA антенна (рис. 1 в [6]). Для этого в используемом макетном конструктиве CFA антенны были удалены нижние Е и D пластины. Верхние пластины были установлены на противовесе, представляющем собой однородную дюралюминиевую пластину 1,5х1,5 м и толщиной 2 мм. ССУ было модифицировано таким образом, что пластины запитывались несимметричными фидерными линиями. При подключении по отдельности D и Е пластин, было также определено, что они изучают две независимые ЭМ волны. Напряженность поля ЭМ волны по сравнению с полноразмерной CFA-антенной упала более чем в два раза.

Фактически так называемая модифицированная CFA антенна представляет собой систему, состоящую из дисковой антенны и четвертьволнового цилиндра (полного или укороченного). Следовательно, модифицированная антенна также работает на принципах классической электродинамики. Ее эффективная работа возможна при размерах, соизмеримых с рабочими длинами волн.

При этом эффективность модифицированной CFA антенны по сравнению с полноразмерной существенно ниже. Главным фактором при выборе данной антенны является ее компактность (эффективность модифицированной антенны оставляет желать лучшего).

Также были проведены опыты с ЕН антеннами. Так называемые ЕН антенны, вероятно, появились в результате практической модификации CFA антенны. Как было сказано выше, в CFA антенне довольно трудно настроить ССУ. При неправильной настройке существенно искажается диаграмма направленности CFA антенны, снижается мощность излучения, возрастают потери в антенне и фидере. На практике точная настройка возможна при наличии соответствующих навыков и приборов. Несомненно, указанные трудности подвели многих радиолюбителей, повторивших конструкцию CFA антенны и не справившихся с ее настройкой, к мысли исключить из конструкции D пластины. Естественно, что получившаяся антенна излучала радиоволны с круговой диаграммой направленности. В лучшем случае, при геометрических размерах, соизмеримых с длинами рабочих волн, данные антенны имели относительно высокую эффективность. При уменьшении размеров, эффективность существенно падала. Во втором случае антенна становилась укороченной, а для компенсации ее реактивности использовались различные «удлиняющие» индуктивности.

Естественно то, что изобретатели ЕН антенн не имели тех знаний, которыми обладали авторы [1], чтобы замаскировать теоретическую несостоятельность своих детищ, посему сколько-нибудь внятного описания теоретических принципов работы ЕН антенн в различных публикациях не обнаружено. Прежде всего, необходимо обратить внимание на само название данного типа антенн – ЕН. Авторы этой антенны утверждают, что данное название антенна получила по причине того, что электрические и магнитные поля в ней образуются и существуют одновременно. Но по данному принципу работают все существующие типы антенн.

Для проверки эффективности ЕН антенны был проведен следующий опыт. Была изготовлена передающая ЕН антенна, представляющая собой две трубы диаметром 50 мм и длиной 2,4 м. Трубы образовали плечи диполя с расстоянием между ними 20 см. На полученный диполь через ССУ подавалось синусоидальное напряжение частотой 30 МГц и амплитудой 20 В на сопротивлении нагрузки 50 Ом. Диполь устанавливался вертикально. Сигнал принимался на четвертьволновый штырь, оснащенный ССУ и индикатором уровня принимаемого сигнала. Напряженность поля, измеренная на расстоянии 50 м от ЕН антенны, по сути, являющейся «вибратором Герца», оказалась равномерной в разных направлениях.

В дальнейшем диполь был укорочен в 10 раз (длина плеч по 25 см), т.е. его геометрические размеры составляли 10% от рабочей длины волны. ССУ использовалось прежнее, сигнал на его входе имел те же параметры. Измерения приемным штырем показали, что антенна практически не излучала.

Затем плечи ЕН антенны были подключены к ССУ через удлиняющие индуктивности. Антенна начала излучать, однако измерения показали снижение напряжения на выходе приемной антенны на 23 дБ, т.е. КПД антенны существенно уменьшился.

Сделаем основной вывод: ЕН-антенна – обычный укороченный диполь. При его нормальном согласовании КПД антенны пропорционально уменьшается с увеличением отношения длины рабочих волн к длине плеч диполей ЕН антенны. Практическое использование укороченных ЕН антенн ограничено ввиду их неэффективности.

В завершение отмечу, что, по сути, авторы CFA антенн и их производных ведут нечестную политику «проталкивания» своих детищ. Замечу, что ни один грамотный инженер не признал эффективности рассмотренных выше антенн. В профессиональной практике CFA (и им подобные) антенны не применяются.