Ликбез: основы теории по антеннам

Предисловие

В цикле статей "Ликбез по антеннам" планируется рассмотрение различного типа антенн, которые широко используются в беспроводной передачи данных. При описании антенн планируется разработка их электродинамической модели в распространенных программных пакетах, а также анализ их достоинств, недостатков и перспектив использования на беспроводных сетях будущего. В процессе прочтения данных статей читатели могут высказывать свои пожелания по дальнейшему рассмотрению тех или иных типов антенн. Все теоретические сведения будут приведены максимально наглядно без излишнего математического описания (насколько это возможно для теории антенн).

В цикле статей будет описан принцип работы, применение, реализация, а также составлены модели следующих типов антенн:

1. Вибраторные антенны;
2. Полосковые (patch) антенны;
3. Антенные решетки;
4. Антенны с бегущей волной (end-fire);
5. Рупорные антенны;
6. Зеркальные параболические антенны;
7. Линзовые антенны;
8. Вопросы согласования антенн с линиями питания.

Введение

Вся беспроводная передача данных основана на процессе распространения электромагнитного поля от источника в окружающее пространство. Антенна играет роль этого источника поля. Сам процесс излучения начинается с того, что под действием высокочастотных электромагнитных полей в излучающей системе (антенне) появляются сторонние токи и заряды. Токи и заряды в свою очередь подводятся от генератора по фидерному тракту (или фидера от слова "to feed" - питать).

Таким образом, в систему излучения электромагнитного поля входят: генератор колебаний, фидер и излучатель. Конечно, сам фидер и генератор непосредственно в излучении не участвуют (или точнее – не должны участвовать, если они правильно сконструированы), рисунок 1.

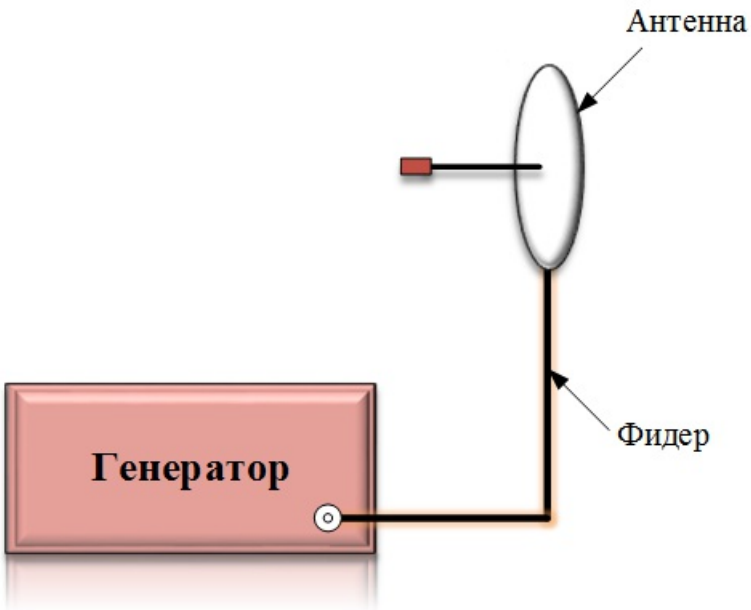


Рисунок 1 – Элементы системы излучения электромагнитного поля

Любая антенна обладает так называемым принципом "двойственности", который говорит о том, что любая антенна может быть как передающей (то есть преобразовывать волны линии передачи в расходящиеся волны окружающего пространства), так и приемной (осуществлять обратное преобразование).

Вне зависимости от реализации и вида антенны, она характеризуется следующими основными параметрами:

Диаграмма направленности (ДН). Это распределение напряженности (или энергии) поля в пространстве, показывает в каких направлениях и с какой мощностью излучает антенная система. Строится эта зависимость, как правило, в сферической системе координат. В зависимости от вида диаграммы (от того, насколько диаграмма "острая") различают изотропные антенны, слабонаправленные, высоконаправленные. От вида диаграммы направленности зависят такие важные характеристики антенны как коэффициент направленного действия (КНД) и коэффициент усилении (КУ). Ниже мы рассмотрим вид диаграммы направленности, а также КНД и КУ одной из самой простых антенн в разных плоскостях.

Коэффициент полезного действия антенны. Он должен быть достаточно высоким, а потери – малыми, именно по этой причине при реализации антенн используют металлические конструкции, обладающие высокой проводимостью и диэлектрики с малыми потерями.

Согласование линии передачи с нагрузкой. Так как и передающая и приемная антенны соединяются с линией питания, то ее входное сопротивление должно быть согласовано с волновым сопротивлением линии. Иначе будет возникать нежелательное возникновение отраженных волн, а наличие последних – это всегда уменьшение излучаемой мощности и источник дополнительных помех.

Вес и габариты. Ясно, что при реализации любого устройства нужно стремиться к получению его наименьших массогабаритных размеров, однако, отметим, что размеры антенны однозначно связаны с основной длиной волны, на которой работает антенна. Вообще в антенной технике не существует понятия "большая" и "маленькая" антенна. Размеры антенны принято характеризовать в длинах волн. Если а – это диаметр зеркала (например, зеркальной антенны), то ее размер можно записать так: это значит, что в диаметр зеркала укладывается 8 длин волн. Если такое зеркало работает в диапазоне 2.4 ГГц (длина волны 12,5 см), то его диаметр будет составлять 1 метр, а если это диапазон 900 МГц (длина волны 33 см) – то диаметр уже больше 2.5 метров.

Принцип работы передающей антенны

Рассмотрим принцип действия простейшего излучающего устройства. Если взять простую двухпроводную симметричную линию, то излучать в пространство она не будет, несмотря на то, что в ней текут токи высокой частоты, рисунок 2.

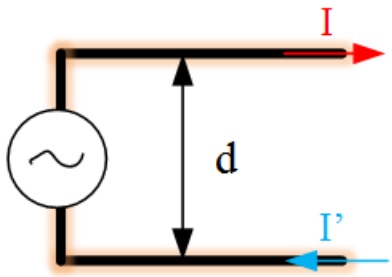


Рисунок 2 – Двухпроводная линия

Излучение будет отсутствовать за счет того, что токи I и I’ находятся в противофазе, что приводит их к взаимной компенсации. Для получения излучения можно развести концы двухпроводной линии, чтобы поля от токов I, I’ не могла компенсировать друг друга, рисунок 3.

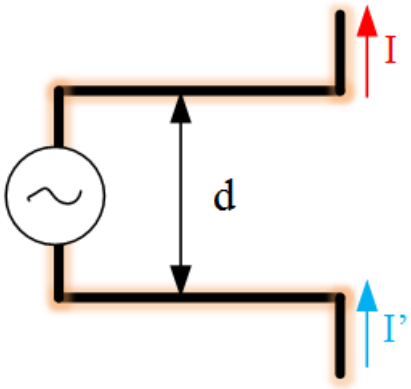


Рисунок 3 – Разомкнутая двухпроводная линия

Такая антенна получила название симметричного вибратора. Распределение тока в вибраторе остается таким же, каким оно было на соответствующем участке двухпроводной линии. Для исследования поля, излученного антеннами из проводов, удобно представлять такую антенну в виде совокупности элементарных электрических вибраторов (ЭЭВ) малой длины (малой по сравнению с длиной волны). В пределах каждого такого элементарного вибратора амплитуду и фазу тока можно считать неизменными. В конечном итоге общее поле, излученное антенной, можно рассчитать как сумму полей, излученных отдельными элементарными вибраторами (в теории это называется принцип суперпозиции).

На практике ЭЭВ реализуется в виде диполя Герца. Это антенна является первым реализованным излучателем электромагнитных колебаний, рисунок 4.

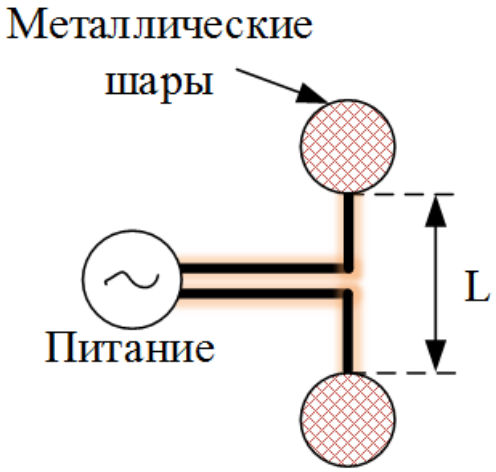


Рисунок 4 – Диполь герца

Такой излучатель можно сделать, если на концах тонких проводов (длиной L, меньшей длины волны) установить проводящие тела с большой емкостью (например, металлические шары). Заряженные шары создают токи, которые значительно выше емкостных токов между проводами. Так обеспечивается равномерное распределение тока вдоль проводника. Отметим, что на практике диполь Герца практически не используется.

Характеристики антенны на примере симметричного вибратора

Ниже будет рассмотрена антенна (одна из самых простых в реализации) - симметричный вибратор. Назван он так потому, что напряженность поля (питающая проводник) подводится к его центру, а распределение тока по проводнику можно также считать симметричным. Сегодня существует большое количество программных пакетов, позволяющих производить электродинамических анализ различных устройств СВЧ и приборов оптического диапазона, среди них: FEKO, Microwave Studio, Ansys HFSS и др. Внешний вид и модель симметричного вибратора в программном пакете Ansys HFSS показана на рисунке 5.

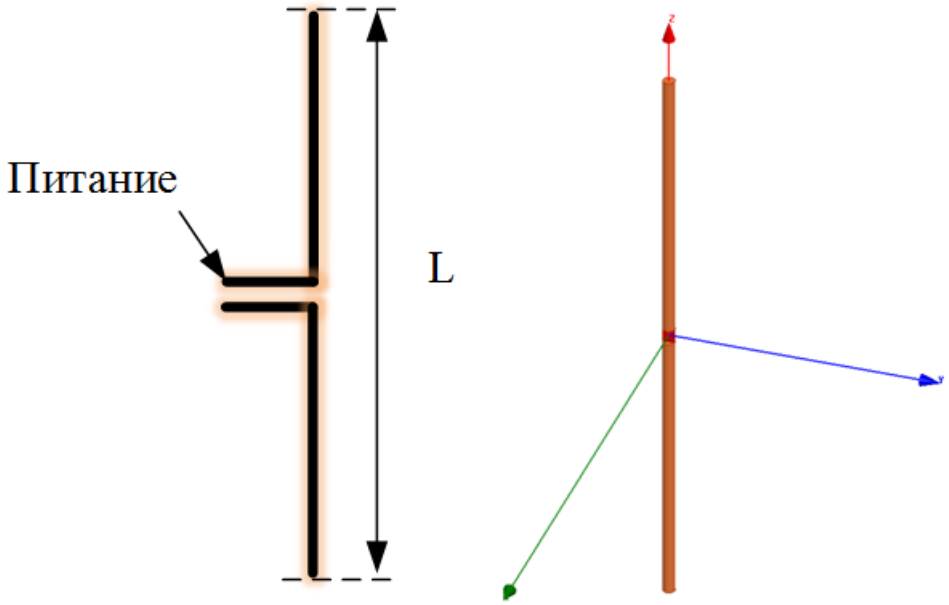


Рисунок 5 – Симметричный вибратор

Сама антенна представляет собой развернутую двухпроводную линию, рассмотренную выше, в которой устанавливается режим стоячих волн.

В зависимости от того, какое отношение имеет длина вибратора L к длине волны λ, может формироваться различная геометрия диаграммы направленности. Для отношения 4L/λ=1 симметричный вибратор формирует диаграмму, показанную на рисунке 6:

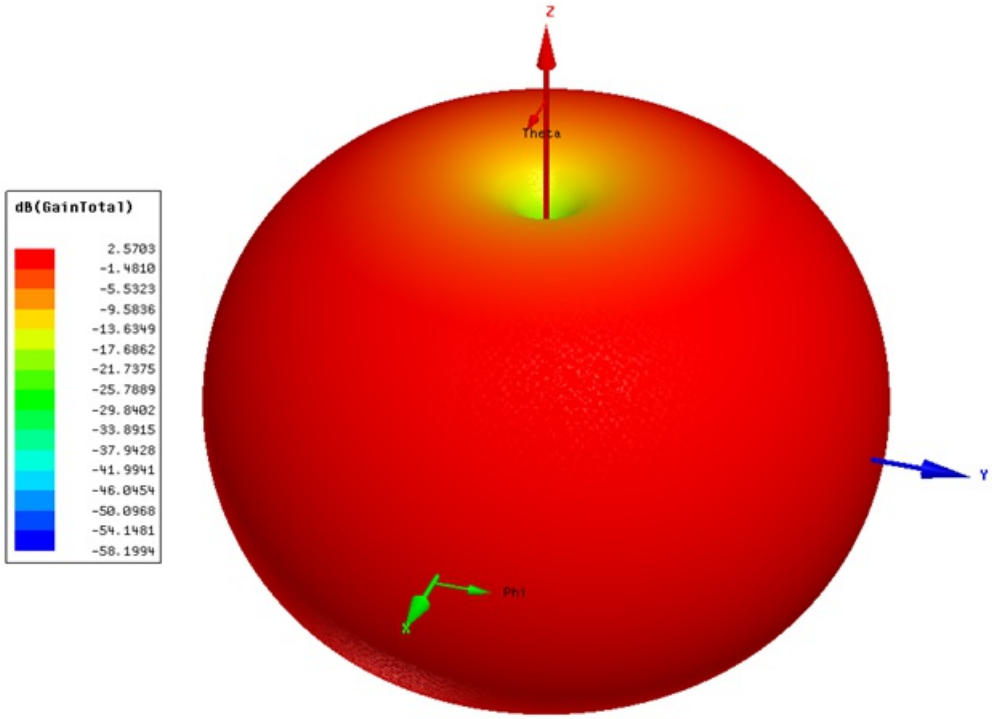
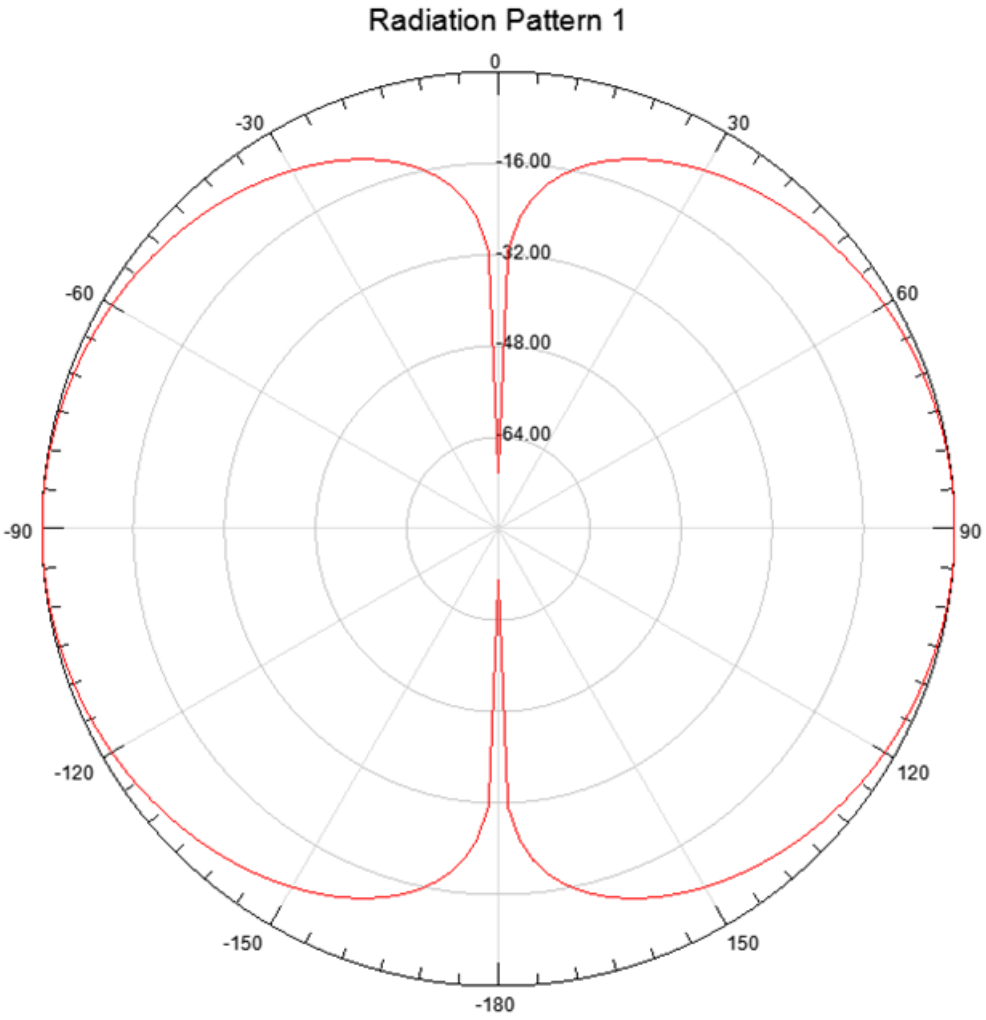


Рисунок 6 – Трехмерная ДН симметричного вибратора длиной 4L/λ=2

Та же самая диаграмма, только нормированная и в вертикальной плоскости полярной системы координат:



Очевидно, что в горизонтальной плоскости диаграмма направленности будет иметь форму шара. Для наглядности вы можете себе представить, что посмотрите на трехмерный вид рисунка 6 сверху (на плоскость Phi).

Если отношение длины вибратора и длины волны 4L/λ=2, что соответствует увеличению частоты колебаний в 2 раза, то диаграмма направленности становится более "плоской" в вертикальной плоскости и как следствие имеет более высокий коэффициент усиления (примерно в 1.5 раза):

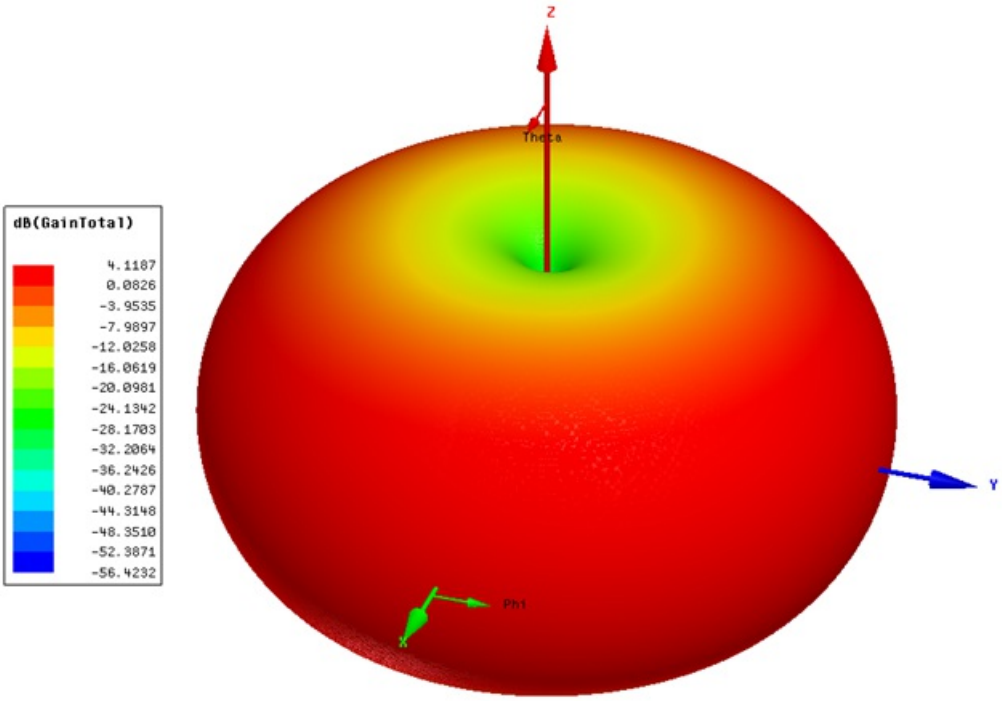


Рисунок 6 – Трехмерная ДН симметричного вибратора длиной 4L/λ=1

Дальнейшее увеличение частоты колебаний приводит к расщеплению диаграммы направленности:

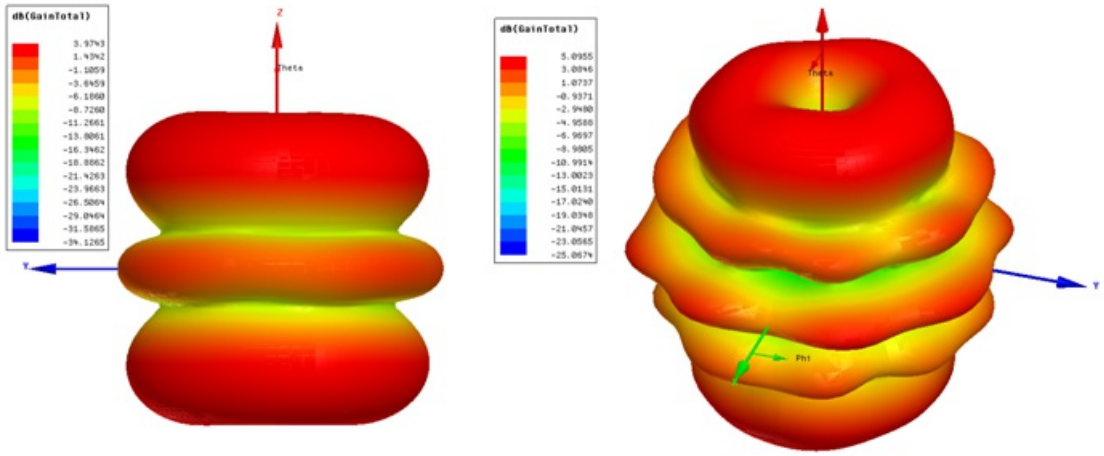


Рисунок 7 – Расщепление диаграммы симметричного вибратора при увеличении частоты колебаний в 3 (слева) и 5 (справа) раз

Симметричный вибратор, несмотря на простоту, очень часто присутствует в качестве частей конструкции более сложных антенн. В заключении отметим, что все конструктивные реализации антенн создаются для того, чтобы создать направленность излучения в определенном направлении (или направлениях). Можно выделить два крупных класса способов реализации направленного излучения: это геометрическое воздействие на источник излучения (например, источник помещается в фокус параболоида или перед проводящим экраном) и воздействие токами, когда группа токов, сдвинутых по фазе, образуют суммарную направленную диаграмму (примером могут служить фазированные антенные решетки).

В дальнейшем будут рассмотрены различные модели антенн, перечисленных в аннотации.

Следующая статья цикла:

Ликбез по антеннам: диаграмма направленности.