

Так называемый "печатный" монтаж радиодеталей на платах известен с середины прошлого века и представляет собой, в простейшем случае, размещение деталей с одной стороны платы, а их соединение с помощью пайки выводов, пропущенных в отверстия в материале платы – с другой. После появились печатные платы с монтажом деталей с их обеих сторон и многослойные платы. Для большей технологичности в изготовлении плат порой и небольшие катушки индуктивности стали осуществлять "печатным" способом.

В данной статье рассматривается ещё один из аспектов применения "печати" – изготовление элементов

антенн. В качестве заготовок для будущих антенн следует рассматривать куски листовых фольгированных материалов: стеклотекстолита или фторопласта (тефлона). Вряд ли целесообразно из-за пределов механической прочности использовать для изготовления антенн листовые фольгированные материалы тоньше 1,5 мм (разве что – на СВЧ, где и полноразмерные линейные или рамочные антенны – небольшие, однако, возникает проблема с потерями в диэлектрике, поэтому на СВЧ стеклотекстолит не годится, – нужно применять фольгированный фторопласт (тефлон)). Поскольку фольгированный материал не дешёв и обладает достаточной

парусностью на ветру, полноразмерные антенны из него на диапазоны КВ и ниже изготавливать вряд ли целесообразно, а на УКВ (50...500 МГц, некоторые сорта стеклотекстолита – до 1300 МГц) такая конструкция вполне осуществима, причём, для уменьшения парусности "лишний" материал можно просто выпилить.

В стеснённых условиях современного мира, в городах и мегаполисах, всё чаще разгораются настоящие бои за жизненное пространство (в том числе и внутри семей), где полноразмерной радиолюбительской антенне просто нет места, поэтому, чтобы хоть как-то иметь выход в эфир, участвовать

в "круглых столах" и иметь контакт с единомышленниками, приходится строить "свёрнутые", урезанные в геометрических размерах, антенны и размещать их внутри помещений, где, для защиты антенн от внешних воздействий (если это не злой умысел домохозяев (Hi!)), достаточно покрыть проводники электроизоляционным лаком.

Что же такое антенна? Это (если просто) – колебательный контур, индуктивность которого при резонансе приводится к максимальному значению, а ёмкость – к минимальному, – этим достигается максимальная добротность контура, максимальный контакт "развёрнутого" колебательного контура со средой распространения радиоволн (электромагнитным полем) и, как результат, – максимальная эффективность при передаче - приёме РЧ энергии. Сворачивая проводники (вибраторы антенны) в катушку, мы сознательно уменьшаем её эффективность (снижаем добротность и контакт со средой, увеличиваем собственную конструктивную ёмкость антенны), поэтому пассивная полноразмерная антенна по эффективности всегда лучше её пассивных уменьшенных версий и к этому нужно быть готовыми, выбирая тот или иной вариант вынужденного "сжатия" антенного устройства.

Ниже рассмотрены некоторые варианты таких возможных сжатий на примере "печатной" технологии изготовления антенн диапазона 2 метра (144...146 МГц). Полоса пропускания антенны зависит от поперечного размера её проводника (здесь: толщины, ширины) и степени "сжатия" (сворачивания, при котором увеличивается собственная межвитковая ёмкость антенны). Самой простой широкополосной антенной может служить панель из фольгированного с одной стороны стеклотекстолита, у которой из центра к одному из внешних краёв выбрана дорожка – **рис. 1**.

Рабочая полоса такой антенны ограничена размерами панели по внешнему периметру с нижней частоты полосы пропускания и размером между краями выбранной

дорожки в центре панели. Для применения такой антенны во всём ТВ диапазоне ДМВ достаточно, чтобы её периметр по периферии имел размер 65 см, для любительского диапазона 432...440 МГц – 70 см, в диапазоне 144...146 МГц – 2 м 10 см. Ограничить полосу пропускания антенны по частоте сверху можно, выбирая фольгу в центре панели, причём, периметр выбранной (удалённой) площадки фольги должен составить:

$$300 : F_v,$$

где F_v – верхняя частота полосы пропускания антенны, МГц.

Кстати, внешний периметр антенной панели считается по этой же формуле:

$$300 : F_n,$$

где F_n – нижняя частота полосы пропускания антенны, МГц.

Как видно, здесь речь шла о рамочной полноразмерной антенне на соответствующие диапазоны частот. Питание такой антенны может осуществляться несколькими способами: симметричным кабелем (линией) или коаксиальным кабелем с использованием "балуна" – симметрирующего трансформатора или без него, что повлияет лишь на ориентацию диаграммы направленности антенны относительно её геометрических осей. Физически оплётка кабеля, в этом случае, припаивается к фольге в угол у выбранной (удалённой) дорожки фольги с внешней стороны панели, центральный проводник кабеля припаивается тоже к фольге внешней стороны панели, но в точку, удалённую от выбранной дорожки по другую сторону от неё. Встанет вопрос: в какую именно точку? – Определяемую инструментально, например, с помощью КСВ-метра, по минимальному КСВ. Возможно согласование антенны с кабелем и перемещением точек пайки по длине выбранной дорожки, согласование – частотозависимо. Вообще-то, без приборов в антенной технике ориентироваться весьма сложно, а приступающему к созданию "свёрнутых" антенных систем – тем более, поэтому настройку антенн нужно осуществлять только по приборам: ГИР,



Рис.1. Эскиз панельной широкополосной антенны



Рис. 2. Эскиз "печатной" катушки – элемента дипольной антенны с "намоткой" против часовой стрелки



Рис. 3. Эскиз "печатной" катушки – элемента дипольной антенны с "намоткой" по часовой стрелке

КСВ-метр, индикатор напряжённости поля, волномер, антенный анализатор, ИЧХ, анализатор спектра и т.п. Другим способом питания этой антенны (симметричным или несимметричным) может быть питание относительно "нулевой точки",

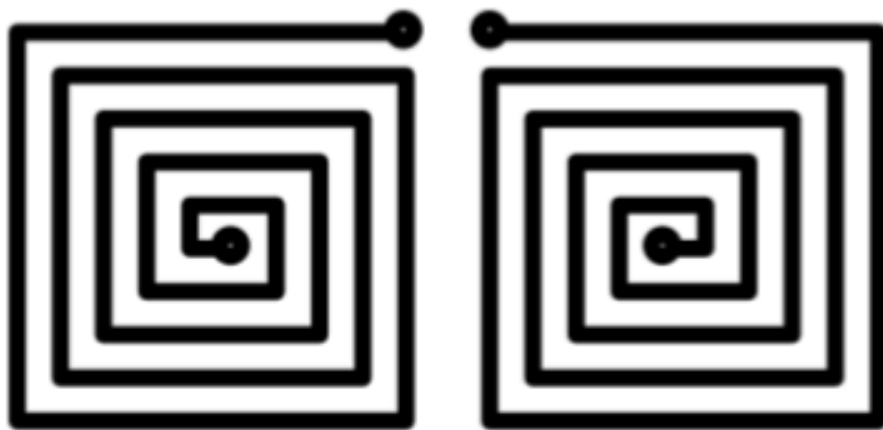


Рис. 4. Эскиз дипольной антенны. Питание можно производить как в центрах катушек, так и с краёв, возможно питание и в разных позициях, обозначенных "пятанками", или с любых точек проводников, необходимых для согласования антенны с фидером по всей длине рамок, но удобно осуществить в центре конструкции – между свёрнутыми полудиполями, параллельные стороны вибраторов могут служить линиями, передвигая места подключения фидера, по ним можно изменять степень согласования фидера с антенной

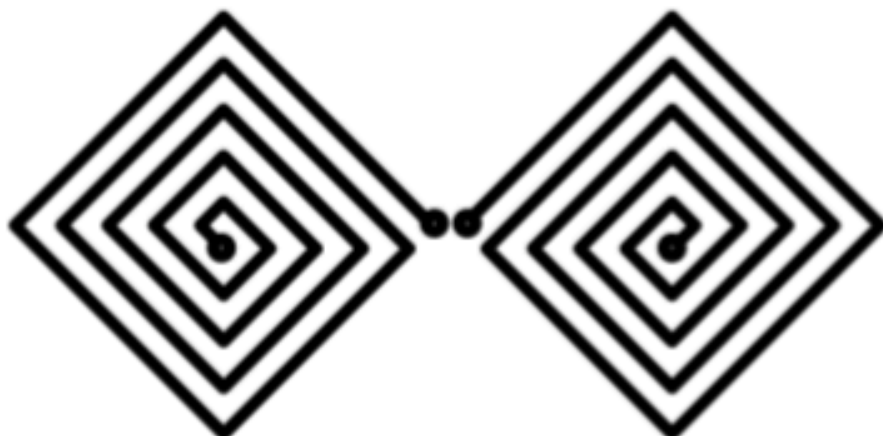


Рис. 5. Эскиз дипольной антенны 2 – пример пространственного размещения полудиполей относительно друг друга

находящейся напротив выбранной дорожки: разнося проводники симметричного кабеля симметрично относительно выше упомянутой точки, по приборам находим точки оптимального согласования и припаиваем кабель к фольге внешнего края панели, коаксиальный кабель припаивается оплёткой к "нулевой точке", центральный проводник передвигаем по периферии панели (в любую сторону), начиная от точки подключения оплётки до достижения минимального КСВ, и в этой точке припаиваем проводник к фольге. Возможно питание панели – рамочной антенны и индуктивно с помощью полученной методом "печати" или простой проволоочной петли из жёсткого изолированного

провода, подключенной к коаксиальному кабелю – длина петли примерно равна одной шестой части длины волны на рабочей для антенны частоте. Петля связи размещается у "нулевой точки" и фиксируется механически после получения максимального КПД антенны (минимального КСВ). Вообще-то, антенны нужно настраивать и согласовывать в их рабочем положении, но, поскольку это не всегда приемлемо, например, в комнате, от антенны убираются все металлические предметы на расстояние, хотя бы в длину волны, антенна ставится в положение той поляризации, при которой она будет работать и фиксируется, настройка ведётся на центральной частоте требуемого рабочего диапазона, при

настройке нахождение людей и животных вблизи полотна антенны нежелательно. Настройку многоэлементных антенн (например, типа Yagi) у поверхности Земли часто производят, направив их траверсы в зенит, для обеспечения минимального влияния этой поверхности, так как она находится в этом случае за рефлектором, но у нас речь идёт пока что об одном единственном активном элементе – одноэлементной антенне, и устанавливать его нужно сразу в рабочее положение относительно поверхности Земли.

Попытка применить дипольную свёрнутую антенну – диполь, приводит к нескольким её модификациям: плоские катушки – полудиполи (рис. 2 и рис. 3) могут быть "закручены" в разные стороны, в одну сторону, размещены относительно друг друга симметрично (одноимёнными сторонами катушек и разными, углами прямоугольных катушек (см. рис. 5)), питание антенны может производиться как в центре катушек, так и с краёв и в центральной их части, расстояние между катушками может варьироваться, как и угол между ними, при изготовлении катушек не на общей (рис. 4, рис. 5), а на индивидуальной основе (подложке). Изменение поляризации диполей осуществляется поворотом антенны на 90 градусов по вертикали. Поскольку вариантов дипольной "свёрнутой" антенны – великое множество, частот, на которые радиолюбитель будет изготавливать антенну – тоже, в статье не приводятся точные размеры, хотя дан стартовый шаблон для экспериментов. Такие свёрнутые вибраторы можно применить, при недостатке места, в качестве одного из двух полудиполей, в качестве настроенной РЧ "земли", противовесов для вертикальных антенн, создания антенных решёток, активных малогабаритных антенн и т.п. Ассортимент конструкций "печатных" антенн оказался настолько обширным, что здесь приводятся лишь некоторые типичные его применения.



Виктор Беседин (UA9LAQ)
г. Тюмень
E-mail: ua9laq@mail.ru

Эксперименты с "печатными" антеннами



Окончание.
Начало в № 5/2020

Перейдём к рамочным антеннам. Здесь тоже прилагается шаблон для экспериментирования – рис. 6. С помощью такого шаблона, изменяя его физические размеры и соединяя его рамки в разных комбинациях, можно получить рамочную широкополосную антенну, соединяя все рамки параллельно, варьируя частоту настройки антенны (в том числе и подключая к отдельным рамкам подстроечные конденсаторы), соединяя элементы (витки) антенны последовательно, причём в фазе и противофазно; получить антенну типа "цинковка" [2], когда используется одна катушка (рамка) связи и рамки, настроенные на свои частоты и находящиеся в одной плоскости (канальная антенна); используя два шаблона, можно изготовить антенну типа "бабочка" и т.д. Питание экспериментальных антенн на основе такого шаблона можно производить с помощью петли (катушки) связи, размещённой в центральной части шаблона.

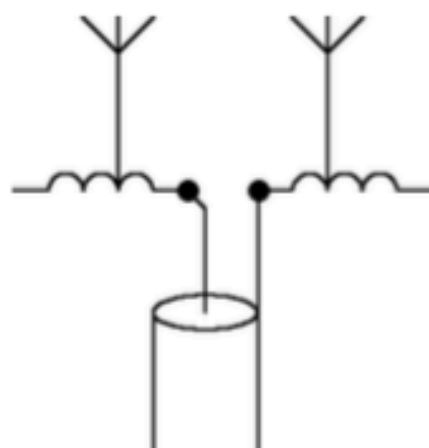


Рис. 7. Подключение к печатным катушкам укороченных линейных элементов. Чем короче линейные проводники, тем ближе их нужно подключать к внешним (по схеме) концам печатных катушек

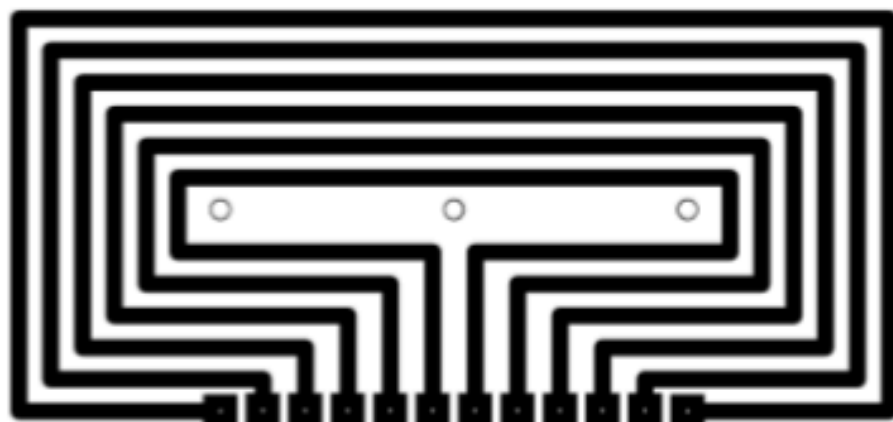


Рис. 6. Эскиз шаблона рамочной антенны

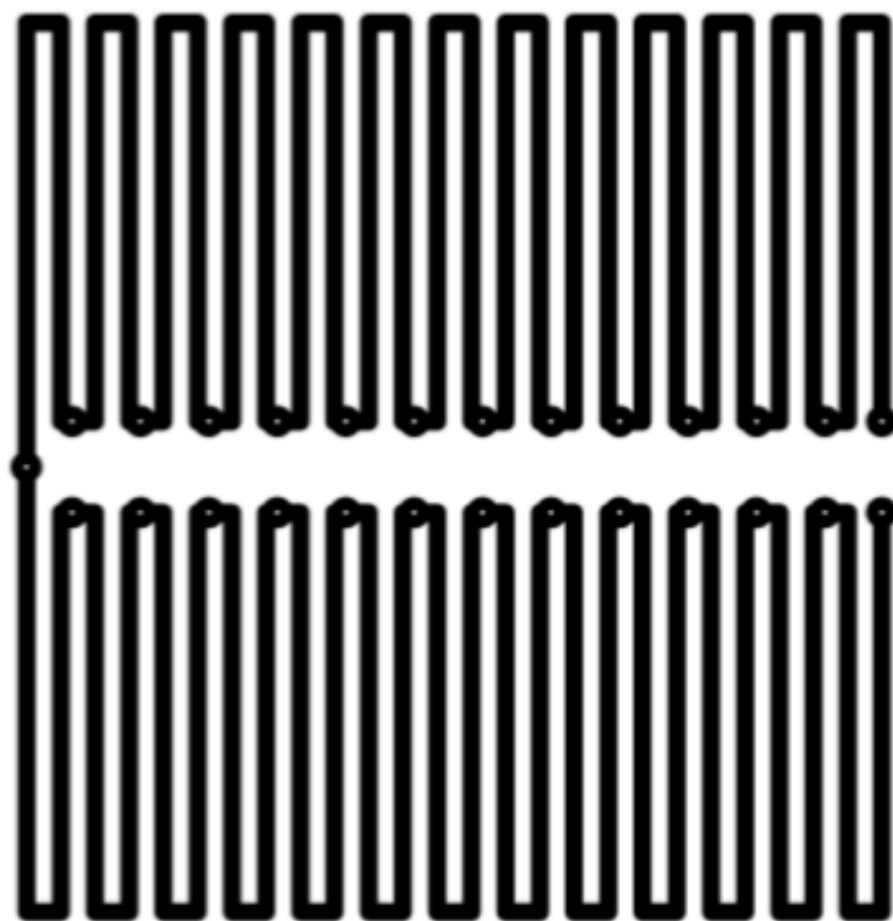


Рис. 8. Эскиз полноразмерной рамочной антенны (для вертикальной поляризации). Периметр рамки – 2475,5 мм, что явно больше, чем требуется для полноразмерной рамки активного вибратора на диапазон 144...146 МГц и даже для рефлектора многократно, плюс ещё и междувитковая ёмкость – конструктивный запас для экспериментов. При настройке с помощью ИЧХ можно это установить и отрезать лишнюю длину проводников (симметрично с обеих сторон рамки).

Для согласования питающей линии с рамкой можно перемещать её вдоль центральной части и припаивать к соответствующим "пятачкам".

Размер подложки (платы из фольгированного стеклотекстолита, на котором вытраивается проводник антенны) – 100x100 мм

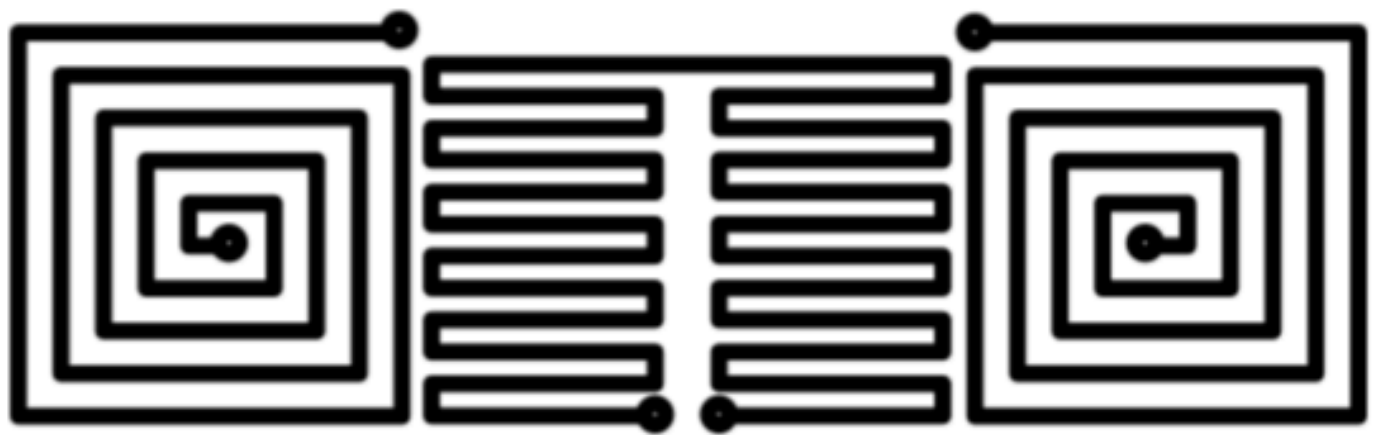


Рис. 9. Эскиз примера печатной антенны на два диапазона: рамочная – на 432 МГц и дипольная – на 144 МГц, в котором рамка служит возбудителем для свёрнутых полудиполей. Возможно и непосредственное согласованное подключение полудиполей к рамке, превращающее антенну в комбинированную магнито-электрическую, хотя с индуктивной связью она уже является таковой. Периметр рамки равен 720 мм – для диапазона 432...440 МГц – многовато – запас на эксперименты

Теперь немного о том, как изготавливать такие антенны – метод довольно прост, главное – не выйти за рамки возможностей своих и аппаратуры (формат А4, А3) – Hi!. Рисунок элементов будущих антенн можно, конечно, нарисовать вручную, но удобнее, быстрее получится нарисовать его с помощью, например, компьютерной программы SPRINT LAYOUT, установив шаг сетки, нужную ширину линий и интервалы между ними, таким же способом можно нарисовать и изображение проводников будущих печатных катушек индуктивности, радиолюбительских значков с позывными и много ещё

чего... Обычная процедура лазерно-утюжной технологии и травление в растворе хлорного железа даёт окончательный результат, а далее – всё зависит от смекалки конструктора и показаний измерительной техники. Полученные катушки можно подстраивать, разрезая проводники и соединяя их, при необходимости, пайкой, припаивая отводы в любом месте катушки, соединяя катушки последовательно и параллельно в фазе и противофазе, перемещая их в пространстве относительно одна – другой и собирая в системы, например, несколько шаблонов с **рис. 6** можно соединить последовательно (при

соединённых последовательно всех рамках каждого шаблона) и получить полноразмерную рамку диапазона 144 МГц, но более компактную, встроить в единое целое двух-трёх диапазонную антенную систему.

Шаблоны печатных катушек и рамок (для примера) расположены на сайте журнала, окончательные размеры их зависят от предпочтений конструктора и рабочих диапазонов частот.

Автором проведён эксперимент по подключению к катушкам-полу-



Рис. 10 – вид фронтальной части антенны



Рис. 11 – вид подвода питания антенны с её тыльной стороны

диполям (рис. 4) резонансных линейных элементов, чётко, даже по уровню шумов и сигналу маячка заметно уменьшение их уровня при симметричном перемещении элементов вдоль проводников катушек от центра, что требует уменьшения длины резонансных элементов для сохранения их комбинационной с катушками настройки на частоту – рис. 7.

На рис. 8 приведён эскиз полноразмерной рамочной антенны (для вертикальной поляризации), на рис. 9 – эскиз примера печатной антенны на два диапазона.

На рис. 10 и рис. 11 приведены фото свёрнутой "печатной" антенны дипольного типа. На рис. 10 – вид фронтальной части антенны – видны торцы винтов М3, ввёрнутые в отверстия с нарезанной в них

резьбой, служащие для крепления "мачты" антенны. На рис. 11 приведён вид подвода питания антенны с её тыльной стороны. Коаксиальный кабель уложен внутрь продольного паза "мачты", выполненной из пластикового слота (групповой упаковочной тары для микросхем) и закреплён ПВХ изолянткой, для "согласования" несимметричного кабеля с симметричной антенной применён "балун", выполненный на ферритовой трубке развязки от старого соединительного компьютерного кабеля.

"Фронт" для экспериментов с "печатными" антеннами оказывается настолько широким, что одному их изготовление и исследование оказывается просто неподсильным – требуется обширная аудитория, оснащённая измерительной

аппаратурой. Стоящие образцы уменьшенных по размерам, но мало проигрывающих по техническим характеристикам полноразмерных "печатных" антенн, думаю, найдут применение в повседневной радиолюбительской практике в стеснённых условиях. Возможно изготовление и многоэлементных антенн, как последовательной (волновой канал), так и параллельной конструкции (фазированные решётки), активных антенн для сканеров и т.п.

Эта статья – лишь "удочка", с помощью которой можно из массы вариантов "выудить" практическую эффективную малогабаритную конструкцию антенны на заданную частоту или диапазон частот.

Желаю успеха!

Рисунки печатных плат (файл [epa_lay.zip](#)) вы можете загрузить с сайта журнала: <http://www.radioliga.com> (раздел "Программы")



Литература

1. В. Беседин. Печатные катушки с помощью "уточно-лазерной". - Радиомир, 2010, №8, стр. 21...22.
2. В. Беседин. "Сумасшедшие" проекты. - http://www.cqham.ru/ant77_48.htm; Радиомир КВ и УКВ, 2008, №4, стр. 35...38; Радиолюбитель, 2020, №1, стр. 42...44.